

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Mario Novak**

Zagreb, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentori:

Prof. dr. sc. Igor Balen, dipl. ing.

Student:

Mario Novak

Zagreb, 2018.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se svome mentoru prof. dr. sc. Igoru Balenu na stručnim savjetima i pruženoj pomoći i podršci tijekom izrade rada. Zahvaljujem se i svojim prijateljima, kolegama te obitelji na pruženoj podršci.

Mario Novak



**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU**  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
procesno-energetski, konstrukcijski, brodstrojarski i inženjersko modeliranje i računalne simulacije

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **Mario Novak**

Mat. br.: 0035199234

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **PROJEKT SUSTAVA GRIJANJA STAMBENO POSLOVNE ZGRADE**

Naslov rada na engleskom jeziku: **DESIGN OF HEATING SYSTEM FOR RESIDENTIAL AND COMMERCIAL BUILDING**

Opis zadatka:

Potrebno je izraditi projekt sustava grijanja stambeno poslovne zgrade sa sedamnaest stanova i jednim poslovnim prostorom na pet etaža (Pr+1K+2K+3K+4K) ukupne površine 1500 m<sup>2</sup>, prema zadanoj arhitektonskoj podlozi. Kao izvor topline predvidjeti kotao na pelete. Predvidjeti individualno mjerenje potrošnje toplinske energije za grijanje na ulazu u svaku vlasničku cjelinu. Izračunati godišnju potrebnu toplinsku energiju za grijanje prema Algoritmu za izračun energetskih svojstava zgrada.

Za zgradu predvidjeti sustav radijatorskog grijanja s temperaturnim režimom tople vode 75/60°C. Predvidjeti akumulacijski sustav pripreme potrošne tople vode i osmisliti sustav bilanciranja potrošnje tople vode po vlasničkim cjelinama. Zgrada se nalazi na području grada Zagreba.

Na raspolaganju su energetski izvori:

- elektro - priključak 220/380V; 50Hz,
- vodovodni priključak tlaka 5 bar.

Rad treba sadržavati:

- pregled sustava grijanja stambeno poslovnih zgrada s osnovnim shemama,
- toplinsku bilancu za zimsko razdoblje prema normi HRN EN 12831,
- tehničke proračune koji definiraju izbor opreme,
- tehnički opis funkcije sustava,
- funkcionalnu shemu spajanja sustava,
- crteže kojima se definira raspored i montaža opreme.

U radu navesti korištenu literaturu i eventualno dobivenu pomoć.

Zadatak zadan:

30. studenog 2017.


Rok predaje rada:

- 1. rok: 23. veljače 2018.
- 2. rok (izvanredni): 28. lipnja 2018.
- 3. rok: 21. rujna 2018.


Predviđeni datumi obrane:

- 1. rok: 26.2. - 2.3. 2018.
- 2. rok (izvanredni): 2.7. 2018.
- 3. rok: 24.9. - 28.9. 2018.

Zadatak zadao:

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

Predsjednik Povjerenstva:

  
Prof. dr. sc. Igor Balen

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	5
POPIS SLIKA .....	7
POPIS TABLICA.....	8
POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE .....	9
POPIS OZNAKA .....	10
SAŽETAK.....	15
SUMMARY .....	16
1. SUSTAVI GRIJANJA U STAMBENIM ZGRADAMA.....	17
1.1. Toplinska ugodnost .....	17
1.2. Sustavi grijanja.....	19
1.3. Ogrjevna tijela.....	20
1.4. Izvori topline .....	22
1.5. Sustav pripreme potrošne tople vode .....	24
2. TOPLINSKA BILANCA ZGRADE .....	27
2.1. Opis zgrade .....	27
2.2. Toplinski gubici .....	27
2.2.1. Osnovne formule HRN EN 12831 .....	28
2.2.2. Ulazni podaci za proračun.....	29
2.2.3. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka .....	31
2.3. Proračun godišnje potrebne energije za grijanje .....	34
2.3.1. Pregled osnovnih formula algoritma.....	34
2.3.2. Ulazni podaci za proračun.....	36
3. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA GRIJANJA.....	40
3.1. Odabir radijatora .....	40
3.1.1. Postupak dimenzioniranja radijatora.....	41
3.2. Odabir cijevnih kupaonskih grijača .....	42
3.2.1. Dimenzioniranje kupaonskih grijača .....	43
3.3. Ukupni učin ogrjevnih tijela .....	44
4. ODABIR I DIMENZIONIRANJE KOTLA I DIMNJAKA .....	45
4.1. Dimenzioniranje kotla.....	45
4.1.1. Toplinski kapacitet kotla .....	45
4.1.2. Odabir kotla .....	46
4.2. Tehnički podaci kotla.....	47
4.3. Spremnik goriva .....	48
4.4. Dimenzioniranje dimnjaka .....	49
4.4.1. Rezultati proračuna prema HRN EN 13384-1 .....	50
5. DIMENZIONIRANJE I ODABIR OPREME SUSTAVA.....	52
5.1. Akumulacijski spremnik ogrjevnog vode .....	52
5.2. Cijevni razvod primarnog kruga grijanja i cirkulacijska pumpa.....	53
5.3. Cijevni razvod sekundarnog kruga i cirkulacijska pumpa za poslovni prostor .....	54

5.4.	Cijevni razvod sekundarnog kruga i cirkulacijska pumpa za stambeni prostor.....	56
5.5.	Ekspanzijska posuda sustava grijanja .....	57
5.6.	Kalorimetrija .....	59
6.	SUSTAV PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE .....	60
6.1.	Opis sustava .....	60
6.2.	Dimenzioniranje spremnika PTV .....	60
6.3.	Dimenzioniranje recirkulacijske pumpe PTV-e .....	62
7.	TEHNIČKI OPIS SUSTAVA .....	64
7.1.	Sustav grijanja.....	64
7.2.	Sustav pripreme potrošne tople vode .....	65
7.3.	Regulacija sustava.....	65
8.	ZAKLJUČAK.....	67
	LITERATURA.....	68

## POPIS SLIKA

Slika 1.	Odnos PMV i PPD indeksa [2].....	18
Slika 2.	Primjer sustava centralnog grijanja [3] .....	19
Slika 3.	Pločasti radijator [4] .....	21
Slika 4.	Kupaonske ljestve [4].....	22
Slika 5.	Kotao na pelete [5] .....	24
Slika 6.	Shema sustava zagrijavanja PTV-a korištenjem kombinacije solarnih kolektora i kotla [7] .....	26
Slika 7.	Stambeno poslovna zgrada [8] .....	27
Slika 8.	Prikaz potrebne mjesečne toplinske energije za grijanje zone 1 (poslovni prostor) .....	38
Slika 9.	Pregled potrebne mjesečne toplinske energije za grijanje zone 2 (stambeni prostor) .....	39
Slika 10.	V&N T6 pločasti radijator sa srednjim priključkom [4] .....	40
Slika 11.	Shematski prikaz V&N T6 pločastog radijatora [4].....	41
Slika 12.	Karakteristike pločastih radijatora kod 75/65/20 °C (izvadak iz kataloga) [9]....	42
Slika 13.	V&N DELLA WAVE kupaonski radijator [4] .....	43
Slika 14.	Karakteristike DELLA WAVE kupaonskog radijatora (izvadak iz kataloga) [9]	44
Slika 15.	Kotao na pelete proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80 [5].....	46
Slika 16.	Primjer sustava dobave peleta fleksibilnim pužnim transporterom [5].....	46
Slika 17.	Projekcijski prikaz kotla proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80 [5].....	48
Slika 18.	Dimnjak proizvođača Schiedel, tip HP5000 [11].....	51
Slika 19.	Akumulacijski spremnik Storatherm Heat HF 1000/R [12].....	52
Slika 20.	Grundfos TP 25-50/2 [13] .....	53
Slika 21.	Radna krivulja pumpe primarnog kruga [13] .....	54
Slika 22.	Grundfos APLHA3 25-50 180 [13].....	55
Slika 23.	Radna krivulja pumpe sekundarnog kruga grijanja poslovnog prostora [13] .....	55
Slika 24.	Grundfos MAGNA1 25-40 [13].....	56
Slika 25.	Radna krivulja pumpe sekundarnog kruga [13] .....	57
Slika 26.	Ekspanzijska posuda proizvođača Imera, tip RV 400 [14] .....	58
Slika 27.	Kalorimetar SONOMETER <sup>TM</sup> 1100 [15].....	59
Slika 28.	Akumulacijski spremnik za PTV proizvođača Reflex, tip Storatherm Aqua AF 1000/1 [12] .....	62
Slika 29.	Recirkulacijska pumpa Grundfos, tip COMFORT 15-14 B PM [13] .....	63
Slika 30.	Radna karakteristika recirkulacijske pumpe PTV [13] .....	63

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Vrijednosti unutarnjih projektnih temperatura .....	30
Tablica 2. Koeficijenti prolaza topline .....	30
Tablica 3. Broj izmjena zraka.....	30
Tablica 4. Toplinski gubici zgrade .....	31
Tablica 5. Primjer proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831 za prostoriju 1.1.2. ....	32
Tablica 6. Toplinski gubici izračunati programom IntegraCAD za prostoriju 1.1.2. ....	33
Tablica 7. Ulazni podaci za proračun .....	36
Tablica 8. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje poslovnog prostora... 38	
Tablica 9. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje stambenog prostora.. 39	
Tablica 10. Tehnički podaci kotla proizvođača HERZ Firematic, tip TC 80 [5].....	47
Tablica 11. Tehnički podaci akumulacijskog spremnika Storatherm Heat HF 1000/R [12] ..	52
Tablica 12. Pad tlaka primarnog kruga .....	53
Tablica 13. Pad tlaka sekundarnog kruga grijanja poslovnog prostora.....	54
Tablica 14. Pad tlaka sekundarnog kruga grijanja stambenog prostora .....	56
Tablica 15. Ukupni volumen vode u sustavu .....	57
Tablica 16. Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika PTV [12] .....	61
Tablica 17. Toplinski gubici pojedine prostorije zgrade .....	70
Tablica 18. Vrijednosti udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Zagreb ...	74
Tablica 19. Vrijednosti faktora smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja.....	75
Tablica 20. Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje .....	75
Tablica 21. Srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period ( $\text{MJ/m}^2$ ).....	76
Tablica 22. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz prozore.....	77
Tablica 23. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz zidove .....	78
Tablica 24. Vrijednosti udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Zagreb ...	80
Tablica 25. Vrijednosti faktora smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja.....	81
Tablica 26. Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje .....	81
Tablica 27. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz prozore.....	82
Tablica 28. Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje .....	83
Tablica 29. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz zaklonjene prozore.....	84
Tablica 30. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz zidove .....	85
Tablica 31. Odabrana ogrjevna tijela za pojedinu prostoriju .....	89



## **POPIS TEHNIČKE DOKUMENTACIJE**

- 04-18-01    Raspored opreme podruma
- 04-18-02    Raspored opreme prizemlja
- 04-18-03    Raspored opreme 1. kata
- 04-18-04    Raspored opreme 2. kata
- 04-18-05    Raspored opreme 3. kata
- 04-18-06    Raspored opreme 4. kata
- 04-18-07    Raspored vertikalna cjevovoda u presjeku zgrade
- 04-18-08    Funkcionalna shema spajanja
- 04-18-09    Shema usponskih vodova

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$a_H$	-	bezdimenzijski parametar ovisan o vremenskoj konstanti zgrade $\tau$
$A_k$	$m^2$	površina plohe „k“ (zid, strop, pod, vrata, prozor) kroz koju prolazi toplina
$A_i$	$m^2$	površina poda grijanog prostora sa polovicom debljine zidova
$A_{sol,k}$	$m^2$	efektivna površina građevnog elementa (otvora, zida) k na koju upada sunčevo zračenje
$A_{pr}$	$m^2$	ukupna površina prozora
$b_{tr,l}$	-	faktor smanjenja za susjedni negrijani prostor
$b_u$	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu negrijanog prostora i vanjsku projektanu temperaturu
$c_p$	J/(kgK)	specifični toplinski kapacitet dimnih plinova u dimnjaku
$c_{pV}$	J/(kgK)	specifični toplinski kapacitet dimnih plinova u veznoj cijevi
$e_i$	-	koeficijent zaštićenosti, uzima u obzir utjecaj vjetra odnosno zaštićenost zgrade i broj otvora prema okolišu
$e_k, e_l$	-	korekcijski faktori izloženosti koji uzimaju u obzir klimatske utjecaje kao vlažnost, temperatura, brzina vjera. Određuju se na nacionalnoj razini
$f_{g1}$	-	korekcijski faktor za utjecaj godišnje oscilacije vanjske temperature
$f_{g2}$	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir razliku između godišnje srednje vanjske i vanjske projektne temperature
$f_{ij}$	-	faktor smanjenja temperaturne razlike koji uzima u obzir temperaturu susjednog prostora i vanjsku projektanu temperaturu
$f_{RH}$	$W/m^2$	korekcijski faktor ovisan o vremenu zagrijavanja i pretpostavljenom padu temperature za vrijeme prekida
$F_{hor}$	-	parcijalni faktor zasjenjenja zbog konfiguracije terena u ovisnosti o orijentaciji plohe, kuta horizonta i zemljopisnoj širini
$F_{sh,ob}$	-	faktor zasjenjenja od vanjskih prepreka direktnom upadu sunčevu zračenja
$F_c$	-	faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja
$F_{ov}$	-	parcijalni faktor zasjenjenja zbog gornjih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu gornjeg zasjenjenja $\alpha$ , zemljopisnoj širini
$F_{fin}$	-	parcijalni faktor zasjenjenja zbog bočnih elemenata prozorskog otvora u ovisnosti o orijentaciji plohe, kutu gornjeg zasjenjenja $\alpha$ , zemljopisnoj širini
$F_W$	-	faktor smanjenja zbog ne okomitog upada sunčevog zračenja
$F_{sh,gl}$	-	faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja
$F_F$	-	udio ploštine prozorskog okvira u ukupnoj površini prozora
$f_{with}$	-	udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom
$F_{r,k}$	-	faktor oblika između otvora k i neba
$G_W$	-	korekcijski faktor za utjecaj podzemne vode

$g_{\perp}$	-	stupanj propuštanja ukupnog zračenja okomito na ostakljenje kada pomično zasjenjenje nije uključeno
$g_{gl}$	-	ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente kada pomično zasjenjenje nije uključeno
$g_{gl+sh}$	-	ukupna propusnost Sunčeva zračenja kroz prozirne elemente s uključenom pomičnom zaštitom
$H_{T,ie}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema vanjskom okolišu
$H_{T,iue}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora kroz negrijani prostor prema vanjskom okolišu
$H_{T,ig}$	W/K	stacionarni koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema tlu
$H_{T,ij}$	W/K	koeficijent transmisijskog gubitka od grijanog prostora prema prema susjednom grijanom prosoru različite temperature
$H_{V,i}$	W/K	koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka
$H_{Tr}$	W/K	koeficijent transmisijske izmjene topline proračunske zone
$H_{Ve}$	W/K	koeficijent ventilacijske izmjene topline proračunske zone
$h_r$	W/(m <sup>2</sup> K)	vanjski koeficijent prijelaza topline zračenjem
$H_p$	m	potrebna visina dobave pumpe
$K$	-	koeficijent hlađenja dimnjaka
$K_V$	-	koeficijent hlađenja vezne dimovodne cijevi
$k_b$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline iz dimnjaka prema okolišu pri temperaturnoj ravnoteži
$k_{bV}$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline iz dimovodne cijevi temperaturnoj ravnoteži
$k_{ob}$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline na izlazu dimnjaka
$l_l$	m	dužina linijskog toplinskog mosta između vanjskog okoliša i prostorije
$n_{min}$	h <sup>-1</sup>	minimalni broj izmjena zraka (nacionalni dodatak)
$n_{50}$	h <sup>-1</sup>	broj izmjena zraka u prostoriji pri razlici tlaka 50 Pa između prostorije i vanjskog okoliša
$n$	%	postotak širenja vode
$p_e$	bar	krajnji projektni tlak, iznosi 0,5 bar manje od tlaka sigurnosnog ventila
$p_o$	bar	primarni tlak ekspanzijske posude (tlak plina prilikom isporuke)
$p_L$	bar	tlak vanjskog zraka
$P_H$	Pa	teoretski podtlak raspoloživ zbog efekta dimnjaka
$P_G$	Pa	razlika tlaka uzrokovana promjenom brzine dimnih plinova u dimnjaku
$P_R$	Pa	pad tlaka u dimnjaku
$P_L$	Pa	tlak brzine vjetra
$P_{Ze}$	Pa	podtlak potreban za uvođenje dimnih plinova u dimnjak
$P_{FV}$	Pa	efektivni pad tlaka u veznoj dimovodnoj cijevi
$P_{HV}$	Pa	teoretski podtlak zbog efekta dimnjaka u dimovodnoj cijevi
$P_{GV}$	Pa	razlika tlaka uzrokovana promjenom brzine dimnih plinova u veznoj cijevi

$P_{RV}$	Pa	pad tlaka u veznoj dimovodnoj cijevi
$P_Z$	Pa	podtlak na ulazu u dimnjak
$P_{Ze}$	Pa	podtlak potreban za uvođenje dimnih plinova u dimnjak
$Q_{H,nd,cont}$	kWh	potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu
$Q_{H,ht}$	kWh	ukupno izmjenjena toplinska energija u periodu grijanja
$Q_{H,gn}$	kWh	ukupni toplinski dobici zgrade u periodu rijanja (ljudi, uređaji, rasvjea i sunčevo zračenje)
$Q_{Tr}$	kWh	izmjenjena toplinska energija transmisijom za proračunsku zonu
$Q_{Ve}$	kWh	potrebna toplinska energija za ventilaciju za proračunsku zonu
$Q_{int}$	kWh	unutarnji toplinski dobici zgrade (ljudi, uređaji, rasveta)
$Q_{sol}$	kWh	toplinski dobici od sunčeva zračenja
$Q_{H,nd,a}$	kWh	godišnja potrebna toplinska energija za grijanje zgrade (zone) pri nekontinuiranom radu
$\dot{Q}_H$	W	toplinski učin ogrjevnog tijela
$\dot{Q}_{H,N}$	W	toplinski učin ogrjevnog tijela u standardnim temperaturnim uvjetima prema HRN EN 442
$R_{se}$	W/(m <sup>2</sup> K)	plošni toplinski otpor vanjske površine zida/krova
$R$	J/(kgK)	plinska konstanta dimnih plinova
$S_{S,k}$	MJ/m <sup>2</sup>	srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period
$t$	h	trajanje proračunskog razdoblja
$\Delta t_m$	°C	srednja logaritamska temperaturna razlika između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji
$\Delta t_{m,N}$	°C	srednja logaritamska temperaturna razliak između ogrjevnog tijela i zraka u prostoriji u standardnim temperaturnim uvjetima prema HRN EN 442
$T_m$	K	srednja temperatura dimnih plinova u dimnjaku
$T_o$	K	temperatura dimnih plinova pri izlazu iz dimnjaka
$T_{mV}$	K	srednja temperatura dimnih plinova u veznoj cijevi
$T_u$	K	okolišna temperatura zraka
$T_W$	K	temperatura dimnih plinova pri izlazu iz kotla
$T_e$	K	temperatura dimnih plinova na ulazu u dimnjaku
$T_L$	K	vanjska temperatura zraka
$T_u$	K	okolišna temperatura zraka
$T_{sp}$	K	temperatura kondenzacije dimnih plinova
$T_p$	°C	temperatura rosišta dimnih plinova
$T_{iob}$	K	temperatura unutrašnje stijenke na izlazu iz dimnjaka
$T_{ob}$	K	temperatura dimnih plinova na izlasku iz dimnjaka
$U_k$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaza topline građevnog elementa „k“
$U_{equiv,k}$	W/(m <sup>2</sup> K)	ekvivalentni koeficijent prolaza topline iz tablica i dijagrama prema tipologiji poda
$U_c$	W/(m <sup>2</sup> K)	koeficijent prolaska topline zida/krova
$U$	m	unutarnji opseg dimnjaka
$\dot{V}_t$	m <sup>3</sup> /h	protok zraka u grijani prostor

$\dot{V}_{inf,i}$	$m^3/h$	maksimalni protok zraka u prostorijsu usljed infiltracije kroz zazore
$\dot{V}_{min,i}$	$m^3/h$	minimalni higijenski protok zraka
$V_i$	$m^3$	volumen prostorije izračunat prema unutarnjim dimenzijama
$V_e$	l	volumen širenja vode
$V_V$	l	dodatni volumen kao zaliha, uzima se 0,5% ukupnog volumena
$V_A$	l	ukupni volumen ogrjevnice vode u sustavu
$w_m$	m/s	srednja brzina dimnih plinova u dimnjaku
$w_{mV}$	m/s	srednja brzina dimnih plinova u veznoj cijevi
$w_1$	m/s	brzina dimnih plinova na ulazu u dimnjak
$w_2$	m/s	brzina dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka
$w_W$	m/s	brzina dimnih plinova pri izlazu iz kotla
$w_e$	m/s	brzina dimnih plinova na ulazu u dimnjak
$\alpha_a$	W/(m <sup>2</sup> K)	vanjski koeficijent prijelaza topline dimnjaka
$\alpha_i$	W/(m <sup>2</sup> K)	unutarnji koeficijent prijelaza topline u dimnjaku
$\alpha_{iV}$	W/(m <sup>2</sup> K)	unutarnji koeficijent prijelaza topline u veznoj dimovodnoj cijevi
$\alpha_{S,c}$	-	bezdimenzijski apsorpcijski koeficijent zida/krova
$\gamma_H$	-	omjer toplinskih dobitaka i ukupne izmjenjene topline transmisijom i ventilacijom u režimu grijanja
$\varepsilon_i$	-	korekcijski faktor za visinu, uzima u obzir različita odnos tlakova sa povećanjem visine iznad okolnog tla
$\eta_{H,gn}$	-	faktor iskorištenja toplinskih dobitaka
$\eta_A$	Ns/m <sup>2</sup>	dinamička viskoznost dimnih plinova u dimnjaku
$\eta_{AV}$	Ns/m <sup>2</sup>	dinamička viskoznost dimnih plinova u veznoj dimovodnoj cijevi
$\vartheta_{int,i}$	°C	unutarnja projektna temperatura grijanog prostora
$\vartheta_e$	°C	vanjska projektna temperatura
$\Delta\vartheta_{er}$	K	prosječna temperaturna razlika vanjske temperature zraka i temperature neba
$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)$	(m <sup>2</sup> K)/W	toplinska otpornost dimnjaka
$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_V$	(m <sup>2</sup> K)/W	toplinska otpornost vezne dimovodne cijevi
$\lambda_A$	W/(mK)	koeficijent toplinske vodljivosti dimnih plinova u dimnjaku
$\lambda_{AV}$	W/(mK)	koeficijent toplinske vodljivosti dimnih plinova u veznoj dimovodnoj cijevi
$\rho_L$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća vanjskog zraka
$\rho_m$	kg/m <sup>3</sup>	srednja gustoća dimnih plinova u dimnjaku
$\rho_{mV}$	kg/m <sup>3</sup>	srednja gustoća dimnih plinova u veznoj cijevi
$\rho_1$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća dimnih plinova na ulazu u dimnjak
$\rho_2$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka
$\rho_W$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća dimnih plinova pri izlazu iz kotla

$\rho_e$	kg/m <sup>3</sup>	gustoća dimnih plinova na ulazu u dimnjak
$\tau$	h	vremenska konstanta zgrade
$\Phi_{HL}$	W	ukupni projektni toplinski gubici zgrade
$\Sigma\Phi_{T,i}$	W	suma transmisijских gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija
$\Sigma\Phi_{V,i}$	W	suma ventilacijskih gubitaka svih prostora isključujući toplinu koja se izmjenjuje između dijelova zgrade ili prostorija
$\Sigma\Phi_{RH,i}$	W	suma toplina za zagrijavanje svih prostorija zbog prekida grijanja
$\Phi_{r,k}$	W	toplinski tok zračenjem od površine otvora k prema nebu
$\Psi_l$	W/(m <sup>2</sup> K)	linijski koeficijent prolaza topline linijskog toplinskog mosta „l“
$\Psi$	-	koeficijent otpora strujanja zbog trenja kod strujanja dimnih plinova kroz dimnjak
$\Psi_{smooth}$	-	koeficijent otpora kod hidraulički glatkog strujanja kroz dimnjak
$\Psi_V$	-	koeficijent otpora strujanja zbog trenja kod strujanja dimnih plinova kroz dimovodnu veznu cijev
$\Psi_{smoothV}$	-	koeficijent otpora kod hidraulički glatkog strujanja kroz dimovodnu veznu cijev

## SAŽETAK

U sklopu ovog završnog rada projektiran je sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode stambeno poslovne zgrade prema arhitektonskoj podlozi. Zgrada se nalazi na području Grada Zagreba te se sastoji od pet etaža sa sedamnaest stanova i jednim poslovnim prostorom ukupne površine 1500 m<sup>2</sup>.

Sustav grijanja je predviđen kao dvocijevni centralni toplovodni sustav grijanja s prisilnom cirkulacijom temperaturnog režima 75/60°C. Ukupni projektni toplinski gubici zgrade, dobiveni proračunom prema normi HRN EN 12831, iznose 67415 W, dok godišnja potrebna toplinska energija za grijanje po metru kvadratnom, dobivena proračunom prema normi HRN EN ISO 13790, iznosi 30,1 kWh/m<sup>2</sup>a za poslovni prostor i 24,78 kWh/m<sup>2</sup>a za stambeni prostor. Izvor topline u sustavu je kotao na drvene pelete snage 80 kW, koji se također koristi i za pripremu potrošne tople vode. Proračunom prema normi HRN EN 13384-1 odabran je dimnjak dimenzije Ø200 mm i visine 17 m. Kotao i ostala potrebna oprema, ekspanzijska posuda te akumulacijski spremnici ogrjevnice vode i potrošne tople vode, nalaze se u kotlovnici u negrijanom podrumu zgrade.

Kao ogrjevnice tijela koriste se pločasti radijatori proizvođača Vogel&Noot tipa T6 i tipa DELLA WAVE, koji su dimenzionirani na temelju izračunatih toplinskih gubitaka svake prostorije. Ukupan učin ogrjevnice tijela iznosi 72133 W. Potrošnja energije za grijanje se mjeri kalorimetrima pri ulazu u svaki pojedini stan. Sustav grijanja i pripreme potrošne tople vode opremljen je sa svom potrebnom armaturom i regulacijskim elementima za potpuno automatski rad.

Uz rad se priloženi i nacrti cjevovodnog razvoda po etažama te funkcionalna shema spajanja opreme i shema usponskih vodova.

## SUMMARY

As part of this bachelor thesis a heating and a domestic hot water system was designed for residential business building according to the architectural base. The building is located in the area of the City of Zagreb and consists of five floors with seventeen apartments and a business space of total area of 1500 m<sup>2</sup>.

The heating system is designed as a two-pipe central heating system with forced circulation of the 75/60 °C temperature regime. The total project losses of the building, calculated according to the HRN EN 12831 standard, are 67415 W, while the annual heat energy required per square meter, calculated according to the HRN EN ISO 13790 standard, is 30,1 kWh/m<sup>2</sup> for business space and 24,78 kWh/m<sup>2</sup> for residential space. The heat source is a boiler on wood pellets of 80 kW, which is also used for the preparation of domestic hot water. Based on the calculation according to HRN EN 13384-1 a chimney with the dimensions of Ø200 mm and height of 17 m was chosen. The boiler and the other necessary equipment, expansion vessels and storage tanks of heating water and domestic hot water are located in the boiler room in the non-heated basement of the building.

Plate radiators of Vogel&Noot type T6 and type DELLA WAVE are used as heating bodies, which were dimensioned based on the calculated thermal losses of each room. Total heating power of the heating bodies is 72133 W. Energy consumption for heating is measured with calorimeters at the entrance of to each apartment. The heating and domestic hot water system is equipped with all the necessary armature and control elements for fully automatic operation.

Along with this work, the layout of the pipeline distribution on each floor and the functional arrangement of the equipment connection and the layout of the runways are enclosed.



# 1. SUSTAVI GRIJANJA U STAMBENIM ZGRADAMA

## 1.1. Toplinska ugodnost

Toplinska ugodnost, prema ISO 7730, jest stanje svijesti koje izražava zadovoljstvo toplinskim stanjem okoliša. Zadatak svakog sustava grijanja, ventilacije i klimatizacije (GViK sustavi) je postizanje i održavanje uvjeta kojima se postiže toplinska ugodnost. Osjećaj ugodnosti je nužno individualan, stoga se traži od sustava da stvara uvjete toplinske ugodnosti koji odgovaraju najvećem broju osoba.

Osnovni faktori koji utječu na toplinsku ugodnost osoba:

- temperatura zraka u prostoriji
- temperatura ploha prostorije
- vlažnost zraka
- strujanje zraka
- razina odjevenosti
- razina fizičke aktivnosti
- kvaliteta zraka
- buka, namjena prostora itd.

Navedeni faktori su međusobno zavisni, što znači da pri promjeni jednog faktora, istu ili sličnu razinu ugodnosti moguće je održati samo uz promjenu i nekog drugog faktora. Toplinska ugodnost je rezultat djelovanja svih navedenih faktora zajedno, a vrednuje se preko PMV (eng. Predicted Mean Vote) i PPD (eng. Predicted Percentage of Dissatisfied) indeksa. PMV predviđa subjektivno ocjenjivanje ugodnosti boravka u okolišu od strane grupe ljudi, a određuje iz složenih matematičkih izraza prema ISO 7730.

$$PMV = [0,303 \cdot \exp(-0,036 \cdot M) + 0,028] \cdot$$

$$\left\{ \begin{aligned} & (M - W) - 3,05 \cdot 10^{-3} \cdot [5\,733 - 6,99 \cdot (M - W) - p_a] - 0,42 \cdot [(M - W) - 58,15] \\ & - 1,7 \cdot 10^{-5} \cdot M \cdot (5\,867 - p_a) - 0,0014 \cdot M \cdot (34 - t_a) \\ & - 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] - f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \end{aligned} \right\}$$

$$t_{cl} = 35,7 - 0,028 \cdot (M - W) - I_{cl} \cdot \left\{ 3,96 \cdot 10^{-8} \cdot f_{cl} \cdot [(t_{cl} + 273)^4 - (\bar{t}_r + 273)^4] + f_{cl} \cdot h_c \cdot (t_{cl} - t_a) \right\}$$

$$h_c = \begin{cases} 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} & \text{za } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} > 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \\ 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} & \text{za } 2,38 \cdot |t_{cl} - t_a|^{0,25} < 12,1 \cdot \sqrt{v_{ar}} \end{cases}$$

$$f_{cl} = \begin{cases} 1,00 + 1,290 I_{cl} & \text{za } I_{cl} \leq 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \\ 1,05 + 0,645 I_{cl} & \text{za } I_{cl} > 0,078 \text{ m}^2 \cdot \text{K/W} \end{cases}$$

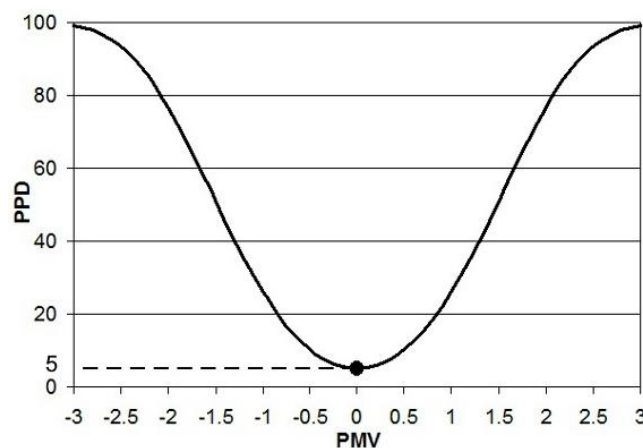
Gdje su:

- $M$  – metabolički učinak,  $\text{W/m}^2$
- $W$  – rad,  $\text{W/m}^2$  (jednak nuli u većini aktivnosti)
- $I_{cl}$  – toplinski otpor odjeće,  $\text{W/m}^2$
- $f_{cl}$  – omjer površine osobe kada je odjevena prema površini kada je gola
- $t_a$  – temperatura zraka,  $^{\circ}\text{C}$
- $t_r$  – srednja temperatura zračenja,  $^{\circ}\text{C}$
- $v_{ar}$  – relativna brzina strujanja zraka,  $\text{m/s}$
- $p_a$  – parcijalni tlak vodene pare,  $\text{Pa}$
- $h_c$  – koeficijent prijelaza topline konvekcijom,  $\text{W/m}^2\text{K}$
- $t_{cl}$  – površinska temperatura odjeće,  $^{\circ}\text{C}$

PPD predviđa postotak nezadovoljnih osoba, a određuje se iz jednostavnog matematičkog izraza, koji je funkcija od PMV.

$$PPD = 100 - 95 \cdot e^{[-(0.03353PMV^4 + 0.2179PMV^2)]} \quad [\%]$$

Da bi se toplinska ugodnost smatrala zadovoljenom PPD indeks mora biti manji ili jednak vrijednosti od 10%, a to je za vrijednosti PMV indeksa između -0,5 i +0,5. Najmanja vrijednost PPD indeksa iznosi 5% za PMV indeks 0.



Slika 1. Međusobna ovisnost PMV i PPD indeksa [2]

## 1.2. Sustavi grijanja

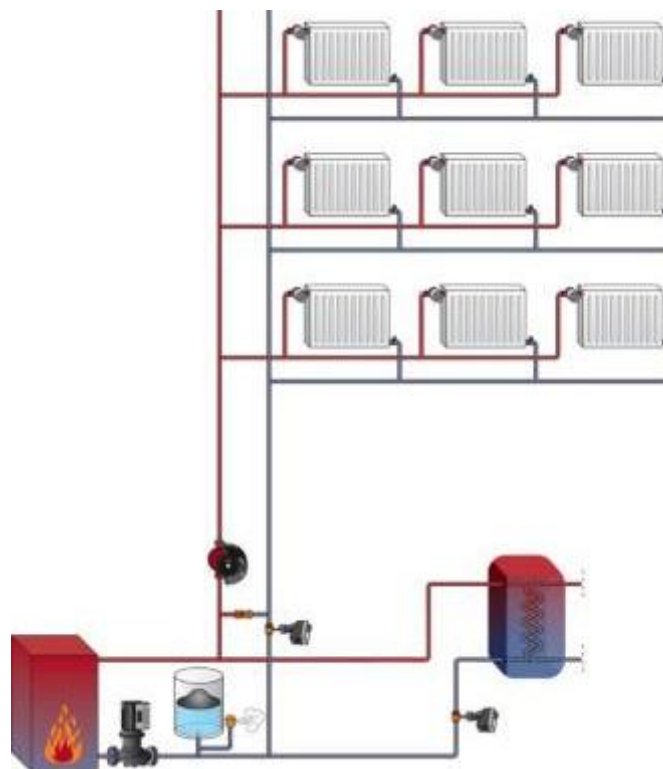
Postoji više vrsta sustava grijanja te na odabir utječu brojni faktori, poput geografske lokacije, položaja i tipa zgrade, vremena korištenja zgrade, raspoloživost izvora energije, utjecaj na okoliš, zakoni te troškovi. Podjela sustava prema izvedbi:

- pojedinačni grijači
- centralno grijanje
- daljinsko grijanje
- sustavi posebne izvedbe (obnovljivi izvori energije)

Sustavi grijanja se također mogu podijeliti i prema ogrjevnom mediju na slijedeći način::

- toplozračni
- zračno-vodeni
- vodeni
- parni

Najčešće korišteni sustavi su vodeni, gdje se koristi ogrjevna voda za transport toplinske energije iz izvora topline do ogrjevnih tijela.



Slika 2. Primjer sustava centralnog grijanja [3]

Sustavi centralnog grijanja koriste jedan središnji izvor topline za zagrijavanje ogrjevnog medija koji struji cjevovodom noseći toplinsku energiju potrebnu za grijanje većeg broja prostorija ili cijele zgrade. Neke prednosti sustava centralnog grijanja su mali broj kotlova i dimnjaka, jednolika razdioba temperatura u prostoru, velika ekonomičnost iskorištenja goriva te baratanje gorivom izvan grijanog prostora. Kao i sve ostalo, sustav ima svoje nedostatke, a ti nedostaci su veliki investicijski i pogonski troškovi, toplinski gubici u cijevima i kanalima, te mjerenje potrošnje toplinske energije postaje složeno za veći broj korisnika u zgradi, ako se ne koriste kalorimetri za svaki stan.

Sustavi centralnog grijanja mogu biti:

- dvocijevni
- jednocijevni

Podjela dvocijevnih sustava centralnog grijanja prema načinu razvoda:

- sustav s donjim razvodom
- sustav s gornjim razvodom
- sustav s vodoravnim etažnim razvodom

U ovom radu se opisuje sustav dvocijevnog centralnog toplovodnog grijanja s vodoravnim etažnim razvodom cijevi.

### **1.3. Ogrjevna tijela**

Osnovni element kojim se prostorije griju, tj. pomoću kojih prenosimo toplinu s ogrjevnog medija na zrak u prostoriji, su ogrjevna tijela. Zahtjevi koje moraju ispunjavati su da omoguće ravnomjernu razdiobu temperature po prostoru, da budu što učinkovitija, male mase, jednostavna za čišćenje i održavanje, postojana na visoku temperaturu, visok tlak i koroziju, te da imaju nisku cijenu. Položaj ugradnje ogrjevnog tijela ima značajan utjecaj na razdiobu temperature po visini prostorije i preko toga na toplinsku ugodnost. Konvektivna ogrjevna tijela je najbolje smjestiti uz vanjski zid, ispod vanjskog prozora, jer se time kompenziraju propuh i gubici zračenjem te konvekcijom prema hladnom prozoru.

Podjela ogrjevnih tijela:

- člankasta ogrjevna tijela
- pločasta ogrjevna tijela
- konvektori

- cijevni grijači
- panelni grijači

Kod većine ogrjevnih tijela, osim panelnih grijača, dominantna je izmjena topline konvekcijom.



**Slika 3. Pločasti radijator [4]**

Pločasti radijatori se izrađuju od zavarenih čeličnih ploča, te se dodatno mogu ugraditi i konvektorski limovi na stražnjoj strani ploče. Ovi radijatori izmjenjuju toplinu dominantno konvekcijom, dok zračenjem izmjenjuju do 30% ukupne topline. Dimenzije radijatora su normirane i bitno je pažljivo biranje dimenzija jer je učin radijatora ovisan o dimenzijama. Učin radijatora može se povećati dodavanjem više redova ploča i konvektorskih limova, doduše to ujedno povećava i debljinu radijatora.

Cijevni grijači služe za grijanje prostorija s malim toplinskim gubicima, kao što su pomoćne prostorije, kupaoalice i kuhinje. Njih karakterizira jednostavna konstrukcija, niska cijena, ali i mali ogrjevni učin. Kod njih je konvekcija osnovni mehanizam izmjene topline. Tipičan primjer ovog ogrjevnog tijela su tzv. kupaonske ljestve čiji je primjer prikazan na slici 4.



**Slika 4. Kupaonske ljestve [4]**

#### **1.4. Izvori topline**

Toplinski izvori služe za pokrivanje potrebe postrojenja s odgovarajućom količinom ogrjevnog medija potrebne temperature i tlaka prema zahtjevima toplinske bilance zgrade.

Kao izvor topline mogu biti:

- kotlovi
- toplane
- električni grijači
- sustavi obnovljivih izvora energije, kao što su dizalice topline, solarni sustavi ili geotermalni izvori.

Najrašireniji izvori topline su kotlovi za centralno grijanje. U kotlu izgara gorivo koje zagrijava ogrjevni medij koji prolazi kroz kotao i odlazi razvodom do ogrjevnih tijela. Vrlo je bitna protočna količina ogrjevnog medija, jer se njome definira koliko toplinske energije se šalje iz kotla do ogrjevnih tijela. Poželjno je da protočna količina ogrjevnog medija bude približna nazivnom protoku kroz kotao, ali može i varirati. Kako se mijenjaju vanjski uvjeti, tako se mijenjaju i zahtjevi za toplinom, zato je bitno da sustav ima automatsku regulaciju protočne količine ogrjevnog medija, da protočna količina bude onolika kolika je potrebna za optimalan rad sustava. Također je bitno upravljati protokom ogrjevnog medija kroz kotao da ne bi došlo do oštećenja kotla, bilo zbog premalog ili prevelikog protoka, ali i premale temperature ogrjevnog medija. Preniska temperatura povratnog ogrjevnog medija bi mogla

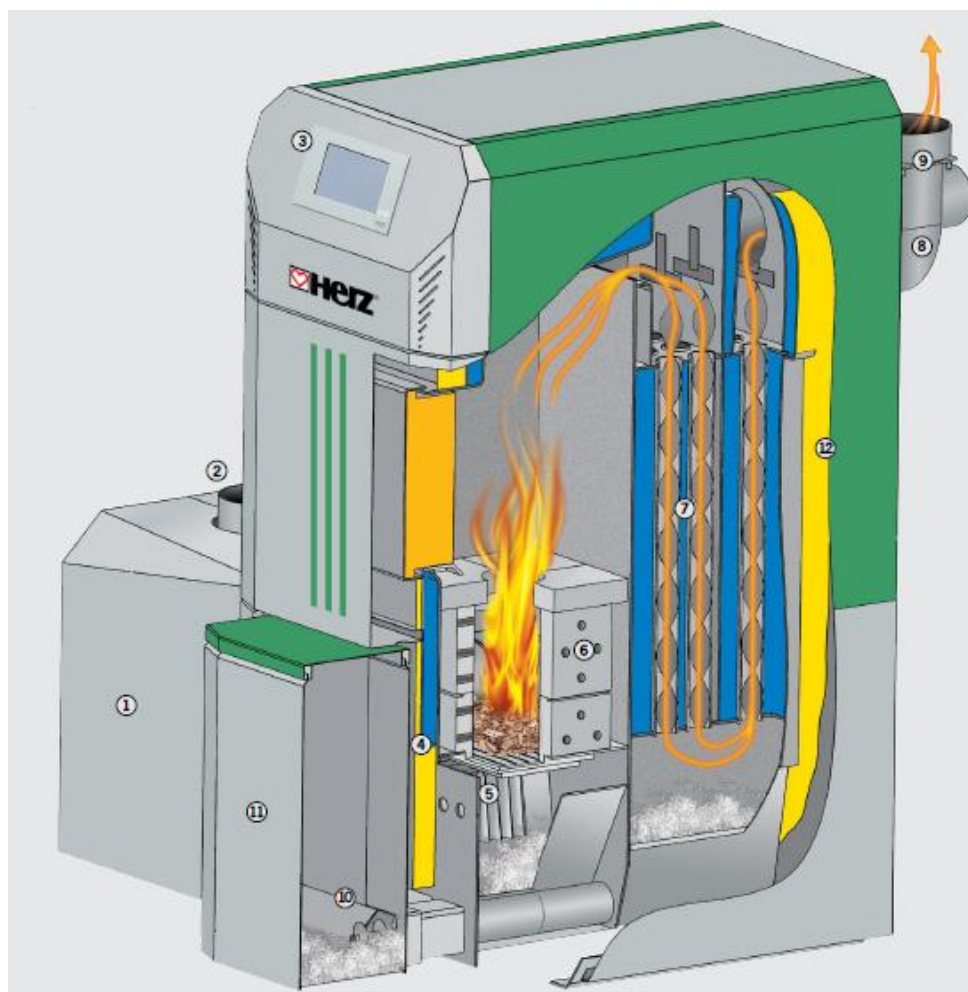
prouzročiti kondenzaciju vodene pare iz dimnih plinova što bi moglo rezultirati s niskotemperaturnom korozijom ako gorivo sadrži sumpor, jer bi se stvarala kiselina tamo gdje bi došlo do kondenzacije. Zaštita od niskotemperaturne korozije izvodi se pomoću troputnog razdjelnog ventila, koji dio polazne struje šalje odmah u povratnu prije kotla da joj podigne temperaturu.

Zbog sve većih cijena fosilnih goriva te svijesti o zaštiti okoliša, kotlovi na biomasu postaju sve češće rješenje. Biomasa je organska tvar koja sadrži prirodno nastalu kemijsku energiju sadržanu u otpadnoj i svježoj prirodnoj masi. Biomasa je obnovljiv izvor energije sa stanovišta vrlo kratkog vremena potrebnog da se obnovi iskorišteno. Može se koristiti direktno izgaranjem za proizvodnju toplinske energije ili indirektno za proizvodnju biogoriva.

Osnovna podjela biomase po vrstama:

- drvena biomasa
- ostaci i otpaci iz poljoprivrede
- životinjski otpad i ostaci
- biomasa iz otpada

Najčešće se koristi drvena masa koja je nastala kao sporedni proizvod ili otpad te ostaci koji se ne mogu više iskoristiti. Jedna takva biomasa su drvni peleti. Drvni peleti se proizvode jednostavnim, relativno jeftinim i energetski malo zahtjevnim postupkom prešanja drvnog ostatka. U usporedbi s fosilnim gorivima oni su gotovo CO<sub>2</sub> neutralni, što znači da se prilikom sagorijevanja peleta oslobađa onoliko CO<sub>2</sub> koliko ga je drvo primilo tijekom života.



1. Međuspremnik
2. RSE (sustav za zaštitu od povratnog plamena) i SLE (samoaktivirajući sustav gašenja)
3. T-CONTROL centralna regulacijska jedinica
4. Automatsko paljenje
5. Automatska okretna rešetka
6. Podijeljena dvozonna komora izgaranja
7. Vertikalni cijevni izmjenjivač topline s turbulatorima
8. Upravljanje lambda sandom
9. Ventilator dimnih plinova
10. Puž za iznošenje pepela
11. Spremnik pepela s prednje strane
12. Toplinska izolacija

Slika 5. Kotao na pelete [5]

### 1.5. Sustav pripreme potrošne tople vode

Potrošna topla voda (PTV) je pitka voda koja se koristi u kućanstvu, bilo to za kuhanje, čišćenje ili za neke druge upotrebe. Mora biti higijenski čista da ne bi bila po zdravlju štetna. PTV se dovodi do izljevniha mjesta otprilike pri temperaturi od 45 °C. Da bi zagrijali PTV na potrebnu temperaturu treba postojati pripadajući sustav zagrijavanja. Česta izvedba za



sustave, kao što je i sustav opisan u ovom radu, je centralna priprema PTV. Što znači da postoji akumulacijski spremnik PTV te jedan grijač na više izljevniha mjesta.

Izvedbe sustava pripreme PTV:

- akumulacijski
- protočni
- kombinirani

Protočni sustavi zagrijavanju onu količinu vode koja se trenutno troši, što zahtjeva veći ogrjevni učin te izvor topline radi cijelu godinu. Akumulacijski sustavi upotrebljavaju spremnik u kojem se PTV u većoj količini unaprijed pripremi prema predviđenoj potrošnji, te zahtijevaju manju snagu izvora topline jer se pretpostavlja da neće svi potrošači koristiti vodu istovremeno. U akumulacijski sustav se može ugraditi recirkulacijska pumpa kojom se osigurava topla voda na svim izljevnim mjestima odmah pri otvaranju slavine. Jedan od mogućih načina regulacije recirkulacijske pumpe je vremenski. Nakon određenog vremenskog intervala se pumpa na kratko uključi, da iz razvoda odvede ohlađenu vodu i dovede zagrijanu te se time postiže da cijelo vrijeme u razvodu PTV bude voda potrebne temperature. Cjevovod za razvod PTV mora biti izoliran kako bi se spriječio gubitak topline vode kroz cijevi.

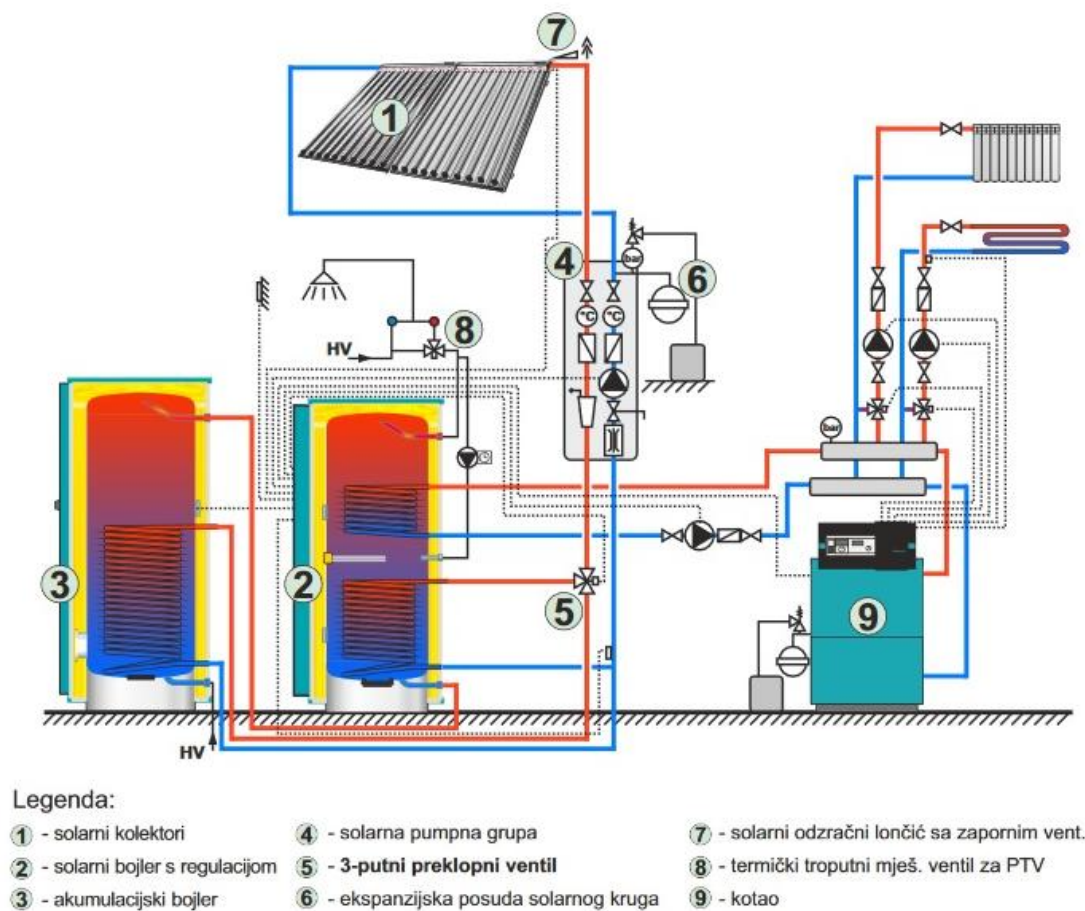
Izvor topline za zagrijavanje PTV:

- solarna energija
- električni grijači
- kotlovi
- otpadna toplota dimnih plinova

Zagrijavanje PTV:

- direktno
- indirektno

Direktno zagrijavanje podrazumijeva neposredno grijanje iz loženja goriva ili električnim grijačem. Indirektno koristi izmjenjivač i posredni medij kojim se donosi potrebna toplina za zagrijavanje. Kod izvedbe gdje se PTV zagrijava pomoću kotla, izmjenjivač se spaja na cirkulacijski krug grijanja. Najčešća izvedba u kućanstvima je kombinacija zagrijavanja preko solarne energije i pomoću kotla. Primjer takvog sustava prikazan je na slici 6.

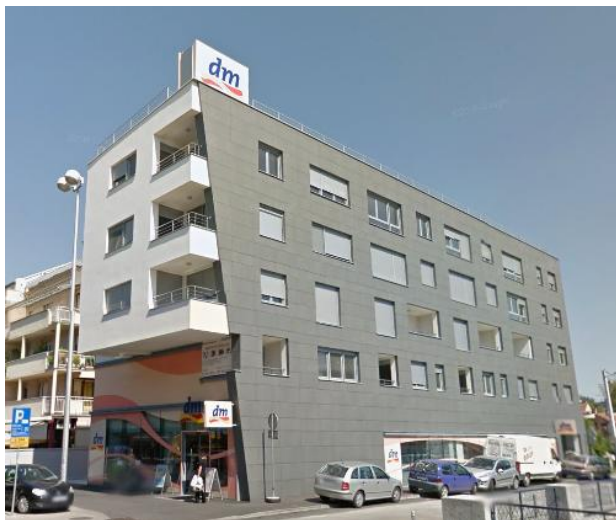


**Slika 6. Shema sustava zagrijavanja PTV-a korištenjem kombinacije solarnih kolektora i kotla [7]**

## 2. TOPLINSKA BILANCA ZGRADE

### 2.1. Opis zgrade

Zgrada široka 12 metara, duga 35 metara i visoka 15 metara korisne površine  $1423 \text{ m}^2$  s poslovnim prostorom i sedamnaest stanova na pet etaža. Poslovni prostor se nalazi na prizemlju, dok su stanovi raspoređeni na četiri kata. Stanovi se sastoje od dnevnog boravka s kuhinjom, spavaće sobe, kupaonice i hodnika. Nisu svi stanovi istih površina, neki stanovi sadrže više spavaćih soba. Svi stanovi imaju prozore na južnoj strani, dok stanovi na prvom katu imaju prozore i na sjevernoj strani. Na drugom, trećem i četvrtom katu na sjevernoj strani nalazi se zajednički hodnik, tj. galerija. Samo neki stanovi imaju lođu i to na južnoj strani zgrade. Podrum služi kao parkirna garaža i u njemu se nalazi kotlovnica. Za grijanje ove zgrade predviđen je centralni toplovodni dvocijevni radijatorski sustav grijanja temperaturnog režima  $75/60 \text{ }^{\circ}\text{C}$  s kotlom na pelete.



Slika 7. Stambeno poslovna zgrada [8]

### 2.2. Toplinski gubici

Toplinski gubici se sastoje od transmisijskih i ventilacijskih gubitaka. Transmisijski gubici predstavljaju toplinski tok koji izlazi iz prostorije kroz njene površine prema okolišu ili susjednim prostorijama koje su na manjoj temperaturi. Koliki su transmisijski gubici ovisi o koeficijentu prolaza topline  $U \text{ [W/m}^2\text{K]}$  za površinu kroz koju toplinski tok prolazi. Ventilacijski gubici predstavljaju onaj toplinski tok koji se utroši na zagrijavanje vanjskog zraka koji uđe u prostoriju infiltracijom i ventilacijom. Koliko toplinskog toka je potrebno da

se pokriju ventilacijski gubici ovisi o volumenu prostorije koja se grije i broju izmjena zraka  $n$  [1/h] za tu prostoriju. Uz toplinske gubitke računa se i toplina potrebna za zagrijavanje prostorije zbog prekida grijanja.

Proračun toplinskih gubitaka se radi s ciljem da se ogrjevna tijela mogu dimenzionirati tako da pokrivaju gubitke topline prostorije u kojoj su instalirani. Proračun se provodi prema normi HRN EN 12831.

### 2.2.1. Osnovne formule HRN EN 12831

Ukupni projektni toplinski gubici:

$$\Phi_{HL} = \sum \Phi_{T,i} + \sum \Phi_{V,i} + \sum \Phi_{RH,i} \quad [W]$$

Transmisijski toplinski gubici:

$$\Phi_{T,i} = (H_{T,ie} + H_{T,iue} + H_{T,ig} + H_{T,ij})(\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [W]$$

Transmisijski gubici prema vanjskom okolišu:

$$H_{T,ie} = \sum_k A_k U_k e_k + \sum_l \Psi_l l_l e_l \quad [W/K]$$

Transmisijski gubici kroz negrijane prostore:

$$H_{T,iue} = \sum_k A_k U_k b_u + \sum_l \Psi_l l_l b_u \quad [W/K]$$

$$b_u = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_u}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad [-]$$

Transmisijski gubici prema tlu:

$$H_{T,ig} = f_{g1} f_{g2} \left( \sum_k A_k U_{equiv,k} \right) G_W \quad [W/K]$$

$$f_{g2} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{m,e}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad [-]$$

Transmisijski gubici prema susjednim prostorijama grijanim na različitu temperaturu:

$$H_{T,ij} = \sum_k A_k U_k f_{ij} \quad [W/K]$$

$$f_{ij} = \frac{\vartheta_{int,i} - \vartheta_{ads}}{\vartheta_{int,i} - \vartheta_e} \quad [-]$$

Ventilacijski toplinski gubici:

$$\Phi_{V,i} = H_{V,i} \cdot (\vartheta_{int,i} - \vartheta_e) \quad [W]$$

$$H_{V,i} = \dot{V}_i \cdot \rho \cdot c_p = \dot{V}_i \cdot 0,34 \quad [W/K]$$

Protok zraka bez sustava prisilne ventilacije:

$$\dot{V}_i = \max(\dot{V}_{inf,i}, \dot{V}_{min,i})$$

$$\dot{V}_{min,i} = n_{min} \cdot V_i \quad [m^3/h]$$

$$\dot{V}_{inf,i} = 2 \cdot V_i \cdot n_{50} \cdot e_i \cdot \varepsilon_i \quad [m^3/h]$$

Prostori s prekidima grijanja zahtijevaju dodatnu toplinu za zagrijavanje do unutarnje projektne temperature prostorije nakon što se ona snizi u periodu prekida grijanja.

$$\Phi_{RH,i} = A_i \cdot f_{RH} \quad [W]$$

### 2.2.2. Ulazni podaci za proračun

Za proračun je bitna vrijednost vanjske projektne temperature, koja se uzima iz tablica danih od strane Državnog hidrometeorološkog zavoda (DHMZ).

- Vanjska projektna temperatura za područje Zagreb-Maksimir:  $\vartheta_e = -12,6 \text{ } ^\circ\text{C}$

Pretpostavljeno je da prostorima za vrijeme prekida grijanja temperatura padne za 1 K i da je potrebno 2 sata zagrijavanja da se ponovno postigne unutarnja projektna temperatura prostorije:

- Korekcijski faktor:  $f_{RH} = 6 \text{ } W/m^2$

Unutarnje projektne temperature se odabiru ovisno o namjeni prostorije koja se proračunava. Vrijednosti unutarnjih projektnih temperatura su prikazane u tablici 1.

**Tablica 1. Vrijednosti unutarnjih projektnih temperatura**

Prostorija	Unutarnja projektna temperatura (°C)
Dnevni boravak, spavaća soba, kuhinja, zahod	20
Kupaonica	24
Hodnici i pomoćne prostorije	15

Za proračun transmisijskih gubitaka potrebne su vrijednosti koeficijenta prolaza topline onih površina prostorije kroz koje prolazi toplinski tok. Te vrijednosti su dane u tablici 2. Vrijednosti potrebne za proračun ventilacijskih gubitaka, broj izmjena zraka prostorije, su dane u tablici 3.

**Tablica 2. Koeficijenti prolaza topline**

Površina	Oznaka	U [W/m <sup>2</sup> K]
Vanjski zid	Vz	0,25
Unutarnji zid prema susjednom stanu	Uz1	0,55
Unutarnji zid prema negrijanom prostoru i stubištu	Uz2	0,35
Prozor s dvostrukim staklom	Pr	1,2
Vrata	Vr	1,9
Strop/pod između stanova	St1	0,55
Strop/pod prema negrijanom prostoru i stubištu	St2	0,35
Strop/pod prema vanjskom zraku	St3	0,2
Ravni i kosi krovovi iznad grijanog prostora	Krov	0,2
Balkonska vrata, prozirni elementi ovojnice zgrade	PrzEl	1,2
Pregradni zid u stanu	Pz	1,25

**Tablica 3. Broj izmjena zraka**

Prostorija	n [1/h]
Kupaonica	1,5
Ostale prostorije	0,5

### 2.2.3. Rezultati proračuna toplinskih gubitaka

U tablici 4. prikazane su vrijednosti toplinskih gubitaka i površine za poslovni prostor i svaki stan.

**Tablica 4. Toplinski gubici zgrade**

Prostor	Oznaka	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$\Phi_T$ [W]	$\Phi_V$ [W]	$\Phi_{RH}$ [W]	$\Phi_{HL}$ [W]	$\Phi_{HL}/A_k$ [W/m <sup>2</sup> ]
Poslovni prostor	0.1.	347,54	9155	6209	2083	17447	50,20
Stan 01	1.1.	46,77	1124	840	279	2243	47,95
Stan 02	1.2.	47,75	1096	921	290	2307	48,31
Stan 03	1.3.	97,06	1975	1644	579	4198	43,25
Stan 04	1.4.	88,40	1825	1520	526	3871	43,79
Stan 05	1.5.	88,85	2069	1526	529	4124	46,41
Stan 06	2.1.	62,79	1320	1085	372	2777	44,23
Stan 07	2.2.	49,52	989	855	295	2139	43,19
Stan 08	2.3.	49,52	967	871	295	2133	43,07
Stan 09	2.4.	78,60	1821	1269	470	3560	45,29
Stan 10	3.1.	55,52	1225	965	331	2521	45,41
Stan 11	3.2.	48,98	855	919	291	2065	42,16
Stan 12	3.3.	48,98	855	919	291	2065	42,16
Stan 13	3.4.	79,09	1751	1406	471	3628	45,87
Stan 14	4.1.	55,70	1691	988	332	3011	54,05
Stan 15	4.2.	49,02	1214	920	292	2426	49,49
Stan 16	4.3.	49,02	1210	926	293	2429	49,49
Stan 17	4.4.	79,04	2593	1407	471	4471	56,57
Ukupno	-	1423	33735	25190	8490	67415	47,37

Ukupni toplinski gubici zgrade prema HRN EN 12831 iznose 67415 W na korisnu površinu zgrade 1423 m<sup>2</sup>. U tablici 5. nalazi se primjer proračuna toplinskih gubitaka za prostoriju 1.1.2. (stan 01, dnevni boravak i kuhinja).

Rezultati proračuna toplinskih gubitaka za svaku prostoriju svakog stana dani su u prilogu 1.

**Tablica 5. Primjer proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831 za prostoriju 1.1.2.**

PROSTORIJA - TOPLINSKI GUBICI									
Stan 01 / 1.1.			Kat 1		1.1.2. / Dnevni boravak i kuhinja				
Unutrašnja temperatura			$\vartheta_{int}$	20	°C	<b>Ventilacija</b>			
<b>Geometrija</b>						Min. izmjena zraka	$n_{min}$	0,5	$h^{-1}$
Širina prostorije	$b_R$	3,5	m			Broj izmjena zraka	$n_{50}$	3	$h^{-1}$
Dužina prostorije	$l_R$	7,35	m			Koeficijent klase zaštite	$e$	0,03	-
Površina prostorije	$A_R$	25,72	m <sup>2</sup>			Visina iznad zemlje	$h$	3,5	m
Visina kata	$h_G$	3,5	m			Korekcijski faktor	$\varepsilon$	1	-
Debljina stropa	$d$	0,3	m			Vol. protok dobavnog zraka	$\dot{V}_{su}$	-	m <sup>3</sup> /h
Visina prostorije	$h_R$	2,5	m			Temp. dobavnog zraka	$\vartheta_{su}$	-	°C
Volumen prostorije	$V_R$	64,31	m <sup>3</sup>			Faktor smanjenja temp. razlike	$f_{V,su}$	-	-
						Vol. protok odvodnog zraka	$\dot{V}_{ex}$	-	m <sup>3</sup> /h
						Temp. odvodnog zraka	$\vartheta_{mech,inf}$	-	°C
Dubina ispod zemlje	$z$	-	m			Faktor smanjenja temp. razlike	$f_{V,mech,inf}$	-	-
Vanjski opseg zgrade	$P$	-	m			<b>Dodatno zagrijavanje</b>			
B-vrijednost	$B'$	-	m			Faktor dodatnog zagrijavanja	$f_{RH}$	6	W/m <sup>2</sup>

Strana svijeta	Građ. Element	Broj	Širina	Dužina/visina	Ukupna površina	Površina za umanjene	Neto površina	Granična temperatura	Korekcijski faktor	U-vrijednost	Korekcija za toplinske mostove	Korigirana U-vrijednost	Koeficijent toplinskih gubitaka	Transmisijski toplinski gubici
		$n$	$b$	$l/h$	$A_{uk}$	$A_{um}$	$A_{neto}$	$\vartheta_u/\vartheta_b$	$e/b_u$	$U$	$\Delta U_{TM}$	$U_{kor}$	$H_T$	$\Phi_T$
			m		m <sup>2</sup>			°C	$f_{g2}/f_{ij}$	W/m <sup>2</sup> K			W/K	W
J	Pr.	2	1	1,4	2,8	0	2,8	-	1	1,2	0,05	1,25	3,64	127
J	Pr.	1	1,6	1,4	2,24	0	2,24	-	1	1,2	0,05	1,25	2,91	102
J	Vz.	1	7,45	2,8	20,86	5,04	15,82	-	1	0,25	0,05	0,3	4,74	166
hor.	St3.	1	4	1,55	6,2	0	6,2	-	1	0,2	0,05	0,25	1,55	54
hor.	St3.	1	1,65	1	1,65	0	1,65	-	1	0,2	0,05	0,25	0,41	14
S	Vr.	1	0,9	2,2	1,98	0	1,98	15	0,15	1,9	0,05	1,95	0,55	19
S	Pz.	1	2,15	2,8	6,02	1,98	4,04	15	0,15	1,25	0,05	1,3	0,75	26
hor.	St1.	1	3,51	1,15	4,03	0	4,03	15	0,15	0,55	0,05	0,6	0,34	12
hor.	St2.	1	1,65	2,35	3,87	0	3,87	10	0,30	0,35	0,05	0,4	0,44	16
<b>TRANSMISIJSKI TOPLINSKI GUBICI</b>								$H_T/\Phi_T$					20,27	537

Minimalna izmjena zraka	$\dot{V}_{min}$	32,156	m <sup>3</sup> /h	383
Prirodna ventilacija	$\dot{V}_{inf}$	11,576	m <sup>3</sup> /h	59
Mehaničko dovodenje zraka	$\dot{V}_{su} \cdot f_{V,su}$	-	m <sup>3</sup> /h	
Odvođenje zraka	$\dot{V}_{mech,inf} \cdot f_{V,mech,inf}$	-	m <sup>3</sup> /h	
<b>VENTILACIJSKI TOPLINSKI GUBICI</b>				
	$H_V/\Phi_V$			10,933
<b>TOPLINSKI GUBICI</b>	$\Phi_{HL,neto}$			16
<b>TOPLINA ZA PONOVRNO ZAGRIJAVANJE</b>	$\Phi_{RH}$			155
<b>UKUPNI TOPLINSKI GUBICI</b>	$\Phi_{HL}$			1053

Cijeli proračun toplinskih gubitaka proveden je uz pomoć programa IntegraCAD. Radi usporedbe rezultata između ručno dobivenih i dobivenih iz programa, u tablici 6. nalaze se rezultati dobiveni programom IntegraCAD za prostoriju 1.1.2.



**Tablica 6. Toplinski gubici izračunati programom IntegraCAD za prostoriju 1.1.2.**

Kat 1 \ 1.1				Prostorija:				Dnevni boravak i kuhinja / 1.1.2													
Duljina (m)				25,79				T (m)				5,00									
Širina (m)				1				Gw				1									
Površina (m²)				25,79				f g1				1,45									
Visina (m)				2,50				Broj otvora				3									
Volumen (m³)				64,48				e i				0,03									
Oplošje (m²)				185,53				f vi				1									
Visina iznad tla (m)				3,50				V ex (m³/h)				0									
Theta int, i (°C)				20				V su (m³/h)				0									
Theta e (°C)				- 15				V su,i (m³/h)				0									
f RH				6,00				n min (1/h)				0,50									
Korekcijski faktor - fh,i				1																	
OZ	Stijena prema	SS	Br	Duž. (m)	V/Š (m)	A (m²)	O	A' (m²)	P	B'	Z	U	Theta u/as (°C)	ek	bu	fij	fg2	TM	H T,i (W/K)	Phi T,i (W)	
Pr	okolici	J	1	1,60	1,40	2,24	-	2,24	0	0	0	1,2	- 15	1	0	0	0	0	2,688	88	
Pr	okolici	J	2	1	1,40	1,40	-	2,80	0	0	0	1,2	- 15	1	0	0	0	0	3,36	110	
Vz	okolici	J	1	7,42	2,80	20,7	+	15,7	0	0	0	0,25	- 15	1	0	0	0	0	3,93	129	
Vr	grijanoj prostoriji	S	1	0,90	2,20	1,98	-	1,98	0	0	0	1,9	15	1	0	0,14	0	0	0,537	18	
Pz	grijanoj prostoriji	S	1	2,15	2,80	6,02	+	4,04	0	0	0	1,25	15	1	0	0,14	0	0	0,721	25	
St1	grijanoj prostoriji	hor.	1	3,51	1,15	4,04	+	4,04	0	0	0	0,55	15	1	0	0,14	0	0	0,317	11	
St3	okolici	hor.	1	4,00	1,55	6,20	+	6,20	0	0	0	0,2	- 15	1	0	0	0	0	1,24	40	
St3	okolici	hor.	1	1,65	1	1,65	+	1,65	0	0	0	0,2	- 15	1	0	0	0	0	0,33	10	
St2	negrijanoj prostoriji	hor.	1	1,65	2,35	3,88	+	3,88	0	0	0	0,35	10	1	0,29	0	0	0	0,388	13	
TM 62	okolici (Toplinski most)	J	1	0	0	0		0	0	0	0	0	- 15	1	0	0	0	0,72	0,72	23	
TM 62	okolici (Toplinski most)	J	2	0	0	0		0	0	0	0	0	- 15	0	0	0	0	0,58	1,16	38	
TM 03 A	okolici (Toplinski most)	JZ	1	0	0	0		0	0	0	0	0	- 15	1	0	0	0	0,55	0,55	18	
TM 04 A	okolici (Toplinski most)	Jl	1	0	0	0		0	0	0	0	0	- 15	1	0	0	0	0,35	0,35	11	
Rezultati proračuna																					
Phi V,inf (W)				16				Phi T,i (W)				541									
Phi V,min (W)				32				Phi V,i (W)				362									
Phi V,mech,inf				0				Phi V,mech (W)				174									
Phi V,su (W)				0				Phi (W)				1057									
Phi RH (W)				155				Phi/A (W/m²)				41									
Phi/V (W/m³)				16																	

Usporedbom dobivenih rezultata ručnom metodom (1053 W) i pomoću programa IntegraCAD (1057 W) može se vidjeti da se iznosi toplinskih gubitaka neznajčajno razlikuju te se iz toga može zaključiti da su postupci ručnog proračuna i proračuna programom usklađeni i jednaki.

### 2.3. Proračun godišnje potrebne energije za grijanje

Dimenzioniranje sustava grijanja se radi prema projektnim toplinskim gubicima dobivenim proračunom prema normi HRN EN 12831. Zbog variranja vanjske temperature, projektni uvjeti nisu uvijek prisutni te sustav tijekom godine radi u djelomičnom opterećenju. Godišnja potrebna energija za grijanje  $Q_{H,nd}$  jest računski određena količina topline koju sustavom grijanja treba tijekom jedne godine dovesti u zgradu za održavanje unutarnje projektne temperature u zgradi tijekom razdoblja grijanja zgrade.

Proračun se provodi prema „Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade prema HRN EN ISO 13790“ i koristi se mjesečna metoda. Zgrada je podijeljena na dvije zone zbog različitih vremena korištenja grijanja, poslovni prostor kao jedna zona i stambeni prostor kao druga zona.

#### 2.3.1. Pregled osnovnih formula algoritma

Potrebna toplinska energija za grijanje pri kontinuiranom radu:

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{H,ht} - \eta_{H,gn} Q_{H,gn} \quad [kWh]$$

$$Q_{H,nd,cont} = Q_{Tr} + Q_{Ve} - \eta_{H,gn}(Q_{int} + Q_{sol}) \quad [kWh]$$

Izmjenjena toplinska energija transmisijom i ventilacijom proračunske zone za promatrani period:

$$Q_{Tr} = \frac{H_{Tr}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) \cdot t \quad [kWh]$$

$$Q_{Ve} = \frac{H_{Ve}}{1000} \cdot (\vartheta_{int,H} - \vartheta_e) \cdot t \quad [kWh]$$

Unutarnji toplinski dobici za proračunski peiod računaju se sa specifičnim unutarnjim dobitkom po m<sup>2</sup> korisne površine, sa vrijednošću od 5 W/m<sup>2</sup> za stambene prostore i 6 W/m<sup>2</sup> za poslovne prostore:

$$Q_{int} = \frac{q_{spec} \cdot A_k \cdot t}{1000} \quad [kWh]$$

Toplinski dobici od sunčeva zračenja:

$$Q_{sol} = \sum_k Q_{sol,k} + \sum_l (1 - b_{tr,l}) Q_{sol,u,l} \quad [kWh]$$

Količina topline od sunčeva zračenja provedena kroz građevni dio zgrade k:

$$Q_{sol,k} = \frac{F_{sh,ob} \cdot A_{sol,k} \cdot S_{s,k}}{3,6} - \frac{F_{r,k} \cdot \Phi_{r,k} \cdot t}{1000} \quad [kWh]$$

Faktor iskorištenja toplinskih dobitaka za grijanje:

$$\eta_{H,gn} = \frac{1 - y_H^{a_H}}{1 - y_H^{a_H+1}} \quad \text{za } y_H > 0 \text{ i } y_H \neq 1$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{a_H}{a_H+1} \quad \text{za } y_H = 1$$

$$\eta_{H,gn} = \frac{1}{y_H} \quad \text{za } y_H < 0$$

$$\gamma_H = \frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}}$$

Mjesečna vrijednost topline za grijanje pri nekontinuiranom grijanju

$$Q_{H,nd,m} = \alpha_{H,red} Q_{H,nd,cont,m} \cdot \frac{L_{H,m}}{d_m} \quad [kWh]$$

$$\alpha_{H,red} = 1 - 3 \cdot \left( \frac{\tau_{H,o}}{\tau} \right) \cdot y_H \cdot (1 - f_{H,hr}) \quad [-]$$

Godišnja vrijednost potrebne toplinske energije za nekontinuirano grijanje proračunske zone:

$$Q_{H,nd,a} = \sum_i Q_{H,nd,m,i} \quad [kWh/a]$$

Zahtjevana vrijednost godišnje potrebne toplinske energije za grijanje stambene zgrade, svedena na jedinicu korisne površine:

$$Q''_{H,nd} = \frac{Q_{H,nd,a}}{A_k} \quad [kWh/m^2 a]$$

### 2.3.2. Ulazni podaci za proračun

Ulazni podaci za proračun su broj dana i sata po mjesecu, te srednja mjesečna vanjska temperatura  $\vartheta_{e,m}$  za postaju Zagreb-Maksimir. Podaci su dobiveni od strane DHMZ-a [17].

**Tablica 7. Ulazni podaci za proračun**

MP Zagreb-Maksimir			
Mjesec	Broj dana	Broj sati (h)	$\vartheta_{e,m}$ (°C)
Siječanj	31	744	0,1
Veljača	28	672	2
Ožujak	31	744	6,4
Travanj	30	720	11,2
Svibanj	31	744	15,9
Lipanj	30	720	19,3
Srpanj	31	744	21
Kolovoz	31	744	20,3
Rujan	30	720	16,1
Listopad	31	744	10,9
Studen	30	720	5,9
Prosinac	31	744	1,4

Ostali potrebni podaci za proračun zone 1 (poslovni prostor):

- Specifični unutarnji dobitak:  $q_{spec} = 6 \text{ W/m}^2$
- Unutarnja proračunska temperatura proračunske zone:  $\vartheta_{int,H} = 20 \text{ °C}$
- Broj izmjena zraka proračunske zone:  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$
- Ukupna korisna površina poda proračunske zone:  $A_K = 347,5 \text{ m}^2$
- Površina zone zgrade s vanjskim dimenzijama:  $A_f = 362,4 \text{ m}^2$
- Volumen zraka u proračunskoj zoni:  $V = 1007,9 \text{ m}^3$
- Ukupna površina prozora proračunske zone na koje upada sunčevo zračenje:
  - Sjever:  $A_{pr,s} = 2,2 \text{ m}^2$

- Jug:  $A_{pr,j} = 46,5 \text{ m}^2$
- Zapad:  $A_{pr,z} = 19,5 \text{ m}^2$
- Srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period:  $S_{S,k}$  (MJ/m<sup>2</sup>) (MGIPU Tablični prikaz meteoroloških veličina, položaja i visina za klimatski mjerodavne meteorološke postaje)
- Vrijeme rada sustava grijanja za proračunsku zonu: pon-pet od 8:00 do 21:00 sati, te sub-ned od 8:00 do 15:00 sati

Ostali potrebni podaci za proračun zone 2 (stambeni prostor):

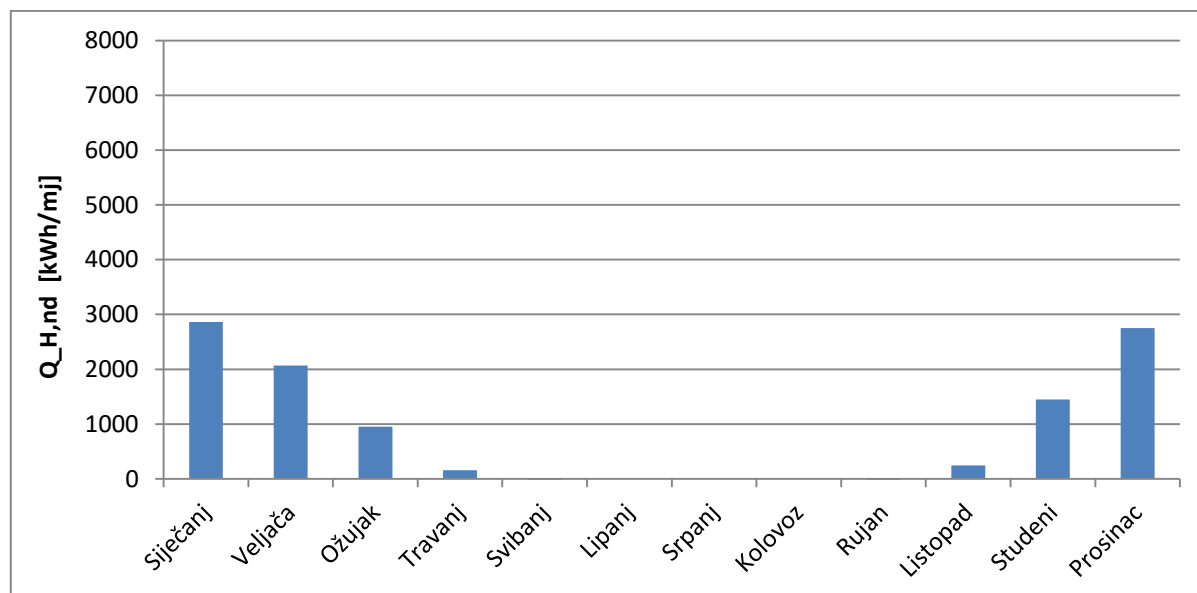
- Specifični unutarnji dobitak:  $q_{spec} = 5 \text{ W/m}^2$
- Unutarnja proračunska temperatura proračunske zone:  $\vartheta_{int,H} = 20 \text{ }^{\circ}\text{C}$
- Broj izmjena zraka proračunske zone:  $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$
- Ukupna korisna površina poda proračunske zone:  $A_K = 1075,46 \text{ m}^2$
- Površina zone zgrade s vanjskim dimenzijama:  $A_f = 1161,5 \text{ m}^2$
- Volumen zraka u proračunskoj zoni:  $V = 3011,3 \text{ m}^3$
- Ukupna površina prozora proračunske zone na koje upada sunčevo zračenje:
  - Sjever:  $A_{pr,s} = 34,9 \text{ m}^2$
  - Jug:  $A_{pr,j} = 85,68 \text{ m}^2$
  - Zapad:  $A_{pr,z} = 10,83 \text{ m}^2$
- Ukupna površina prozora proračunske zone koji su zaklonjeni od sunčevog zračenja:
  - Jug:  $A_{pr,j} = 31,23 \text{ m}^2$
  - Zapad:  $A_{pr,z} = 85,68 \text{ m}^2$
  - Jugoistok:  $A_{pr,ji} = 5,28 \text{ m}^2$
  - Jugoizapad:  $A_{pr,jz} = 4,16 \text{ m}^2$
- Srednja dozračena energija sunčevog zračenja na površinu građevnog dijela k za promatrani period:  $S_{S,k}$  (MJ/m<sup>2</sup>) (MGIPU Tablični prikaz meteoroloških veličina, položaja i visina za klimatski mjerodavne meteorološke postaje)
- Vrijeme rada sustava grijanja za proračunsku zonu: svaki dan od 6:00 do 23:00 sati,

### 2.3.3. Rezultati proračuna

Proračun je proveden u programu Microsoft Office Excel za obje zone i time su dobivene mjesečne vrijednosti toplinskih gubitaka, toplinskih dobitaka te toplinske energije potrebne za grijanje.

**Tablica 8. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje poslovnog prostora**

Mjesec	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Br.dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Br.sati	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
$\vartheta_{e,m}$	0,1	2	6,4	11,2	15,9	19,3	21	20,3	16,1	10,9	5,9	1,4
$Q_{tr,m}$	4017	3282	2745	1719	828	137	0	0	762	1837	2754	3754
$Q_{ve,m}$	2499	2042	1708	1070	515	85	0	0	474	1143	1714	2336
$Q_{ht}$	6516	5324	4453	2789	1343	222	0	0	1236	2980	4468	6091
$Q_{int,m}$	1551	1401	1551	1501	1551	1501	1551	1551	1501	1551	1501	1551
$Q_{sol,m}$	544	832	1305	1425	1698	1727	1660	1460	1338	1222	654	437
$Q_{h,gn}$	2096	2233	2856	2926	3249	3228	3212	3011	2840	2773	2155	1989
$\gamma_H$	0,32	0,42	0,64	1,05	2,42	14,55	0,00	0,00	2,30	0,93	0,48	0,33
$\eta_{H,gn}$	0,99	0,97	0,91	0,76	0,40	0,07	1,00	1,00	0,42	0,81	0,96	0,99
$Q_{H,nd,cont}$	4448	3153	1846	565	36	-1	0	0	37	745	2401	4128
$\alpha_{H,red}$	0,80	0,74	0,59	0,34	-0,53	-8,22	1,00	1,00	-0,45	0,41	0,70	0,79
$Q_{H,nd}$	2860	2069	954	158	-16	10	0	0	-15	247	1449	2750
$\Sigma Q_{H,nd,a}$ [kWh/a]	10465											

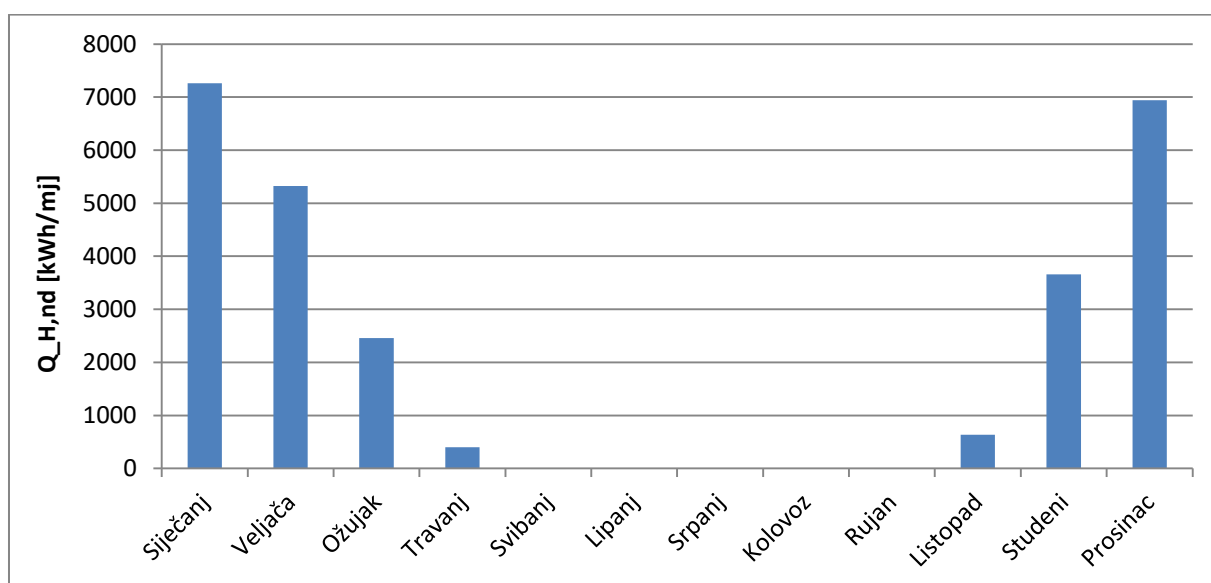


**Slika 8. Prikaz potrebne mjesečne toplinske energije za grijanje zone 1 (poslovni prostor)**

Godišnja potrebna energija za grijanje poslovnog prostora po kvadratnom metru površine iznosi 30,09 kWh/(m<sup>2</sup>a).

**Tablica 9. Rezultati proračuna godišnje potrebne energije za grijanje stambenog prostora**

Mjesec	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Br.dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Br.sati	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
$\vartheta_{e,m}$	0,1	2	6,4	11,2	15,9	19,3	21	20,3	16,1	10,9	5,9	1,4
$Q_{tr,m}$	9415	7692	6434	4029	1940	320	0	0	1786	4305	6456	8800
$Q_{ve,m}$	7468	6101	5104	3196	1539	254	0	0	1416	3415	5121	6980
$Q_{ht}$	16883	13793	11538	7225	3478	575	0	0	3202	7720	11576	15780
$Q_{int,m}$	4801	4336	4801	4646	4801	4646	4801	4801	4646	4801	4646	4801
$Q_{sol,m}$	1098	1761	2888	3270	3978	4075	3941	3466	3020	2617	1319	851
$Q_{h,gn}$	5899	6097	7689	7916	8779	8721	8742	8267	7666	7418	5965	5651
$y_H$	0,35	0,44	0,67	1,10	2,52	15,17	0,00	0,00	2,39	0,96	0,52	0,36
$\eta_{H,gn}$	0,99	0,98	0,93	0,77	0,39	0,07	1,00	1,00	0,41	0,82	0,97	0,99
$Q_{H,nd,cont}$	11037	7818	4403	1161	46	-1	0	0	51	1637	5809	10179
$\alpha_{H,red}$	0,82	0,77	0,65	0,43	-0,31	-6,85	1,00	1,00	-0,24	0,50	0,73	0,82
$Q_{H,nd}$	7263	5327	2459	403	-11	-4	0	0	-10	638	3658	6942
$\Sigma Q_{H,nd,a}$ [kWh/a]	26662											

**Slika 9. Pregled potrebne mjesečne toplinske energije za grijanje zone 2 (stambeni prostor)**

Godišnja potrebna energija za grijanje poslovnog prostora po kvadratnom metru površine iznosi 24,78 kWh/(m<sup>2</sup>a).

Proračun godišnje potrebne energije za grijanje prema normi HRN EN 13790 detaljnije je prikazan u prilogu 2.

### 3. DIMENZIONIRANJE SUSTAVA GRIJANJA

Sustav grijanja ove zgrade projektiran je tako da se koristi radijatorsko grijanje u svim prostorijama, osim u kupaoionicama, gdje se koriste cijevni grijači. Dimenzioniranje ogrjevnih tijela, provedeno je prema normi HRN EN 442. Kako temperaturni režim sustava iznosi 75/60 °C, a normirani režim prema HRN EN 442 iznosi 75/65 °C, potrebno je raditi korekciju učina jer radijator ne radi u standardnim uvjetima za koje je proizvođač dao toplinski učin radijatora. Radijatorima želimo pokriti toplinske gubitke, tako da se za dimenzioniranje radijatora uzimaju vrijednosti toplinskih gubitaka i ta vrijednost se korigira ako radijator ne radi u standardnim uvjetima te se traže dimenzije radijatora koji će imati dovoljan učin za pokrivanje gubitaka. Na isti način se odabiru i kupaoonski grijači.

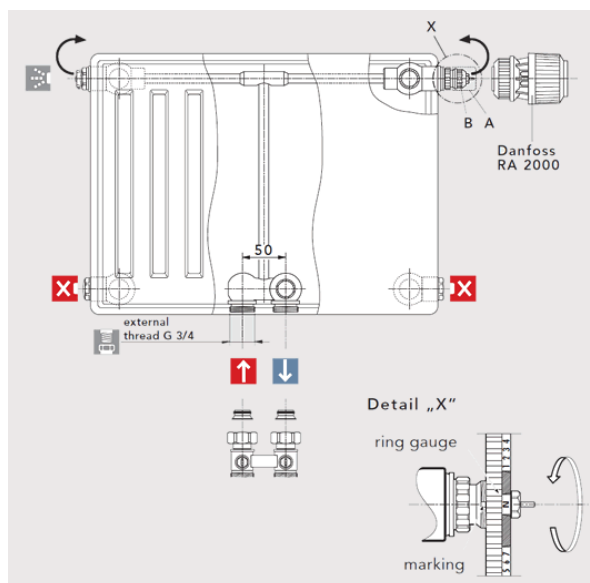
#### 3.1. Odabir radijatora

Odabrani su pločasti radijatori sa srednjim priključkom proizvođača Vogel & Noot tipa T6. Proizvođač daje na izbor više tipova radijatora. Tipovi ovise o broju redova ploča i konvektorskih limova koje radijator sadrži. S više redova radijator postaje deblji, ali zato mu je toplinski učin veći za istu visinu i dužinu. Radijatori se daju opremiti s termostatskim ventilom sa prednamještenom Kv vrijednošću. Za ovaj sustav su bili odabrani termostatski ventili proizvođača Danfoss tipa RA 2000. Radijatori se priključuju na razvod cjevovoda preko H-ventila, tako da su za ovaj sustav odabrani ravni H-ventili proizvođača Danfoss tipa RLV-KS.



**Slika 10.** V&N T6 pločasti radijator sa srednjim priključkom [4]





Slika 11. Shematski prikaz V&N T6 pločastog radijatora [4]

### 3.1.1. Postupak dimenzioniranja radijatora

Kako sustav radi s temperaturnim režimom koji je drugačiji od onog za koji je proizvođač dao toplinski učin radijatora, iznos se mora korigirati kako bi se radijatori mogli odabrati iz kataloga proizvođača. Npr. za prostoriju 1.1.3. s toplinskim gubitkom od 610 W pri unutarnjoj temperaturi od 20°C postupak bi bio slijedeći:

Potrebno je izračunati srednju logaritamsku temperaturnu razliku projektiranog sustava koji radi s 75/60 °C pri unutarnjoj temperaturi od 20 °C.



$$\Delta t_m = \frac{t_V - t_R}{\ln\left(\frac{t_V - t_i}{t_R - t_i}\right)} = \frac{75 - 60}{\ln\left(\frac{75 - 20}{60 - 20}\right)} = 47,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zatim je potrebno izračunati toplinski učin za standardne temperaturne uvjete, 75/65/20 °C, prema kojima proizvođač daje toplinske učine radijatora. Standardna srednja logaritamska temperaturna razlika iznosi 49,83 °C. Odabran je radijator visine 600 mm i tipa 11. Za pločaste radijatore 11VM visine 600 mm eksponent grijača iznosi 1,319. Vrijednost je uzeta iz kataloga proizvođača čiji je izvadak prikazan na slici 12.

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{H,N} \left( \frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}} \right)^n$$

$$\dot{Q}_{H,N} = \dot{Q}_H \left( \frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}} \right)^{-n} = 610 \left( \frac{47,1}{49,83} \right)^{-1,319} = 657 \text{ W}$$

Sada se u katalogu traži radijator koji ima prvi veći učin od izračunate vrijednosti. Iz kataloga se može vidjeti da radijator duljine 720 mm ima učin 676 W koji je veći od izračunatog, tako da se odabire radijator 11 VM/600/720 jer će on u zadanom temperaturnom režimu sustava grijanja imati dovoljan toplinski učin da se pokriju toplinski gubici prostorije.

	Height [mm]	600					
	Type	10	11 K 11 KV 11 VM	21 K-S 21 KV-S 21 VM-S	22 K 22 KV 22 VM	33 K 33 KV 33 VM	
	Power						
400	Watt	250	376	543	685	981	
520	Watt	325	488	706	891	1276	
600	Watt	375	563	814	1028	1472	
720	Watt	450	676	977	1233	1766	
800	Watt	500	751	1086	1370	1962	
920	Watt	575	864	1248	1576	2257	
1000	Watt	625	939	1357	1713	2453	
1120	Watt	700	1052	1520	1919	2747	
1200	Watt	750	1127	1628	2056	2944	
1320	Watt	825	1239	1791	2261	3238	
1400	Watt	875	1315	1900	2398	3434	
1600	Watt	1000	1502	2171	2741	3925	
1800	Watt	1125	1690	2443	3083	4415	
2000	Watt	1250	1878	2714	3426	4906	
2200	Watt	1375	2066	2985	3769	5397	
2400	Watt	1500	2254	3257	4111		
2600	Watt	1625	2441	3528	4454		
2800	Watt			3800	4796		
3000	Watt			4071	5139		
Radiatorexponent n		1,301	1,319	1,310	1,343	1,333	

**Slika 12. Karakteristike pločastih radijatora kod 75/65/20 °C (izvadak iz kataloga) [9]**

Dimenzioniranje radijatora provedeno je programom IntegraCAD koji omogućava ubrzan postupak dimenzioniranja radijatora, zbog baze podataka koja je uključena u program i koja sadrži karakteristike i dimenzije radijatora.

### 3.2. Odabir cijevnih kupaonskih grijača

Cijevni kupaonski grijači se nazivaju još i kupaonskim ljestvama. Za ovaj sustav grijanja odabrani su kupaonski radijatori proizvođača Vogel & Noot tipa DELLA WAVE.



Slika 13. V&N DELLA WAVE kupaoński radijator [4]

### 3.2.1. Dimenzioniranje kupaońskih grijača

Dimenzioniranje se provodi na isti način kao i za pločaste radijatore. Kako će kupaońske ljestve raditi u uvjetima za koje nisu dane vrijednosti toplinskih učina radijatora od strane proizvođača, potrebno je korigirati učin da se mogu iz kataloga odabrati ispravne dimenzije. Radi lakše narudžbe, odlučeno je da svi kupaoński grijači budu visine 1100 mm. Sada je još samo potrebno odabrati odgovarajuću širinu kojom će kupaoński grijači imati potreban učin. Npr. za kupaońicu 1.1.4. s toplinskim gubitkom od 477 W pri unutarnjoj temperaturi od 24°C postupak bi bio slijedeći:

Potrebno je izračunati srednju logaritamsku temperaturnu razliku projektiranog sustava koji radi s 75/60 °C pri unutarnjoj temperaturi od 24 °C.



$$\Delta t_m = \frac{t_V - t_R}{\ln \left( \frac{t_V - t_i}{t_R - t_i} \right)} = \frac{75 - 60}{\ln \left( \frac{75 - 24}{60 - 24} \right)} = 43,1 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Zatim je potrebno izračunati toplinski učin za standardne temperature uvjete, 75/65/20 °C, prema kojima proizvođač daje toplinske učine radijatora. Standardna srednja logaritamska temperaturna razlika prema HRN EN 442 iznosi 49,83 °C. Za kupaońske grijače eksponent grijača ovisi o širini grijača. Različiti eksponenti grijača ne utječu dovoljno na dobivenu vrijednost da bi utjecali na promjenu širine grijača. U ovom slučaju će prva veća vrijednost učina uvijek biti za širinu 596 mm, tako da će se uzeti vrijednost eksponenta grijača za tu širinu, a on iznosi 1,21. Vrijednost eksponenta je uzeta iz kataloga proizvođača čiji je izvadak prikazan na slici 14.

$$\dot{Q}_H = \dot{Q}_{H,N} \left( \frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}} \right)^n$$

$$\dot{Q}_{H,N} = \dot{Q}_H \left( \frac{\Delta t_m}{\Delta t_{m,N}} \right)^{-n} = 477 \left( \frac{43,1}{49,83} \right)^{-1,21} = 568 \text{ W}$$

Sada se u katalogu traži grijač koji ima prvi veći učin od izračunate vrijednosti. Iz kataloga se može vidjeti da grijač širine 596 mm ima učin 604 W, što je veće od izračunatog, tako da se odabire kupaonski grijač 1134/596 za odabranu prostoriju.

 Nazivna visina	Ugrad- bena visina	 Ugrad- bena dužina	Toplinski učin u Watt kod <sup>(1)</sup>					Exponent toplinskog učina n
			90/70/20 °C	75/65/20 °C	70/55/20 °C	70/55/24 °C	55/45/20 °C	
700	(714)	399	359	286	234	204	152	1,239
		498	425	343	284	250	189	1,170
		596	500	404	334	294	222	1,175
		742	612	493	407	358	270	1,182
		887	722	581	479	421	317	1,189
1100	(1134)	399	542	431	351	307	227	1,257
		498	640	512	419	367	274	1,227
		596	753	604	496	435	326	1,210
		742	916	738	609	535	403	1,186
		887	1074	869	720	634	480	1,161
1800	(1764)	399	813	653	537	472	353	1,202
		498	975	782	642	563	422	1,210
		596	1146	921	758	666	499	1,199
		742	1397	1126	929	817	615	1,184
		887	1641	1326	1097	966	730	1,168

<sup>(1)</sup> Ispitano prema EN 442

Slika 14. Karakteristike DELLA WAVE kupaonskog radijatora (izvadak iz kataloga) [9]

Dimenzioniranje kupaonskih radijatora također je provedeno programom IntegraCAD.

### 3.3. Ukupni učin ogrjevnih tijela

Nakon što su dimenzionirana ogrjevnna tijela za svaku prostoriju, može se dobiti ukupni učin ogrjevnih tijela. Izvor topline mora osigurati taj učin kako bi ogrjevnna tijela mogla pokriti toplinske gubitke zgrade. Pomoću tog učina dimenzionira i odabire se kotao na pelete.

Ukupni toplinski učin ogrjevnih tijela u poslovnom prostoru iznosi 19016 W, a u stambenom prostoru 53117 W. Sveukupni toplinski učin svih ogrjevnih tijela iznosi 72133 W.

Popis odabranih ogrjevnih tijela za pojedine prostorije dan je u prilogu 3.

## 4. ODABIR I DIMENZIONIRANJE KOTLA I DIMNJAKA

### 4.1. Dimenzioniranje kotla

#### 4.1.1. Toplinski kapacitet kotla

Kotao se koristi za zagrijavanje vode potrebne za napajanje ogrjevnih tijela i potrošne tople vode. Za toplovodne i vrelovodne kotlove učin ogrjevnih tijela treba uvećati za gubitke kotla i cijevnog razvoda.

$$\Phi_K = (1 + a + b) \cdot \Phi_{OT}$$

- $\Phi_{OT}$  – toplinski tok koji trebaju potrošači [W]
- $a$  – faktor korekcije zbog toplinski gubitaka u cijevnom razvodu  
= 0,05 za sustave čiji su vodovi zaštićeni, usponski vodovi na unutarnjim zidovima, vodoravna mreža izolirana i postavljena u toplim prostorima  
= 0,10 za sustave čiji su vodovi slabo zaštićeni, usponski vodovi na vanjskim zidovima, vodoravna mreža izolirana i postavljena u hladnim prostorima  
= 0,15 za sustave čiji su vodovi položeni i široko razgranati, usponski vodovi u žljebovima vanjskih zidova, vodoravna mreža izolirana i postavljena u hladnim prostorima
- $b$  – faktor prekida loženja  
= 0,20 za grijanje vodom  
= 0,10 za grijanje parom

Kako je već u proračunu toplinskih gubitaka uzet u obzir potreban učin zbog prekida grijanja, ovdje se ne uzima u obzir faktor prekida loženja.

Kotao se odabire iz kataloga proizvođača na temelju izračunatog kapaciteta. Odabire se kotao koji ima dovoljno učina da pokrije zahtjeve sustava.

$$\Phi_K = (1 + 0,05 + 0) \cdot 72,13$$

$$\Phi_K = 75,74 \text{ kW}$$

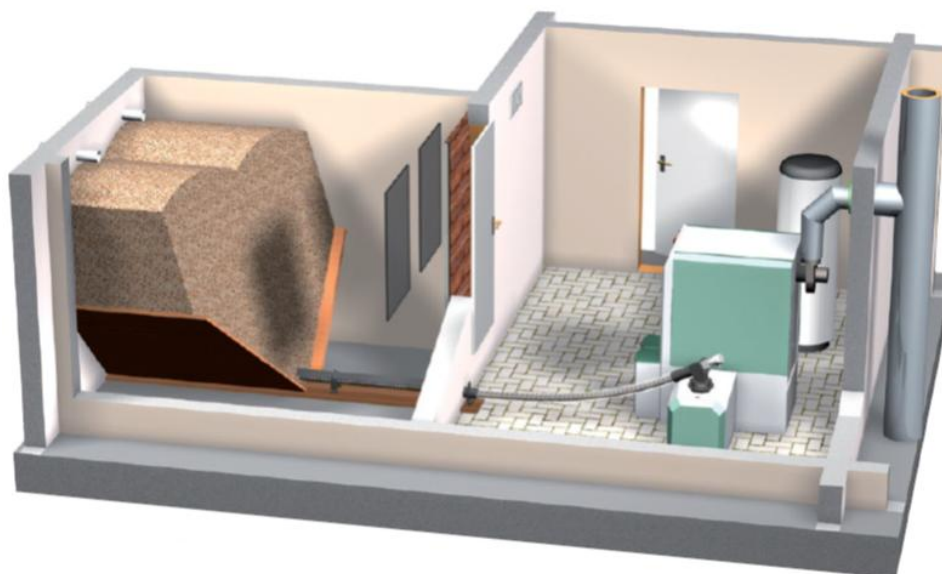
#### 4.1.2. Odabir kotla

Odabran je kotao na pelete proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80.



**Slika 15. Kotao na pelete proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80 [5]**

Kotao je opremljen s ventilatorom za odsisavanje dimnih plinova iz ložišta čime se u ložištu stvara podtlak i tako se osigurava protok primarnog i sekundarnog zraka za izgaranje. Peleti se u kotao dovode pomoću sustava dobave s fleksibilnim pužnim transporterom. Pužni transporter prenosi pelete iz spremnika do pokretne rešetke u kotlu koja onda dalje pelete šalje u ložište gdje izgaraju. Primjer kotla sa sustavom transporta peleta iz spremnika prikazan je na slici 16. Kotao također dolazi opremljen s akumulacijskim spremnikom ogrjevnog vode.



**Slika 16. Primjer sustava dobave peleta fleksibilnim pužnim transporterom [5]**

Kotao također dolazi opremljen s integriranom mikroprocesorskom upravljačkom jedinicom T-Control uz mogućnost VNC (Virtual Network Computing) nadzora i upravljanja mikro mrežom do 64 modula (kruga grijanja).

T-Control služi kao centralna upravljačka jedinica za:

- regulaciju izgaranja
- regulaciju lambda sonde (upravljanje zrakom za izgaranje i dovodom goriva)
- regulaciju kruga grijanja s miješanjem prema vanjskoj temperaturi
- upravljanje pripremom potrošne tople vode
- za podizanje temperature povrata
- upravljanje akumulacijskim spremnicima ogrjevnice vode i PTV-e

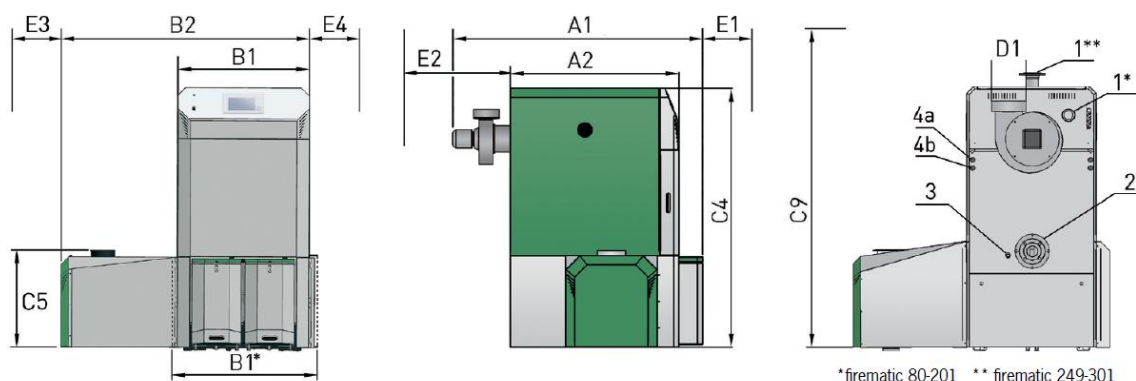
#### 4.2. Tehnički podaci kotla

Uz tehničke podatke tablicom 8 dane su i dimenzije izabranog kotla i minimalne udaljenosti slobodnog prostora oko kotla za smještaj u kotlovnici.

**Tablica 10. Tehnički podaci kotla proizvođača HERZ Firematic, tip TC 80 [5]**

Nazivna snaga (kW)		80
Raspon učina (kW)		22,2-80
Dimenzije (mm)		
Duljina - ukupna	A1	1709
Duljina - kućište	A2	1178
Širina	B1	846
Širina sa sustavom dobave	B2	1636
Visina	C4	1690
Dobava - gornji rub	C5	646
Minimalna visina prostorije	C9	2300
Promjer dimovodne cijevi	D1	180
Minimalni prostor spreda	E1	800
Minimalni prostor odzada	E2	450
Minimalni prostor slijeva	E3	300
Minimalni prostor sdesna	E4	700

Tehnički podaci		
Masa kotla	kg	1032
Učinkovitost izgaranja	%	>94
Dopustiv radni tlak	bar	3,0
Maksimalna radna temperatura	°C	95
Kapacitet vode	l	179
Protok dimnih plinova pri nazivnom učinku	kg/s	0,045
Temperatura dimnih plinova	°C	110



Slika 17. Projekcijski prikaz kotla proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80 [5]

#### 4.3. Spremnik goriva

Kako se kotlovnica nalazi u podrumu zgrade, spremnik goriva je ukopan u zemlju. Zamišljen je kao prostorija sa skošenim stranicama koje omogućuju da drveni peleti pod utjecajem gravitacije slobodno padaju na pužni transporter koji se nalazi na sredini prostorije. Primjer takvog spremnika se može vidjeti na slici 16. Idealno bi bilo kada bi spremnik goriva imao toliki kapacitet goriva s kojim bi se mogla pokriti cijela godišnja potrebna energija za grijanje. Time bi spremnik zahtijevao samo jedno punjenje po godini.

Za izračun minimalno potrebnog kapaciteta, tj. volumena spremnika goriva, koristi se vrijednost godišnje potrebne energije za grijanje ovog cijelog sustava. Ukupna godišnja potrebna energija za grijanje poslovnog i stambenog prostora iznosi:

- $Q_{H,nd} = 37128 \text{ kWh}$

Također su potrebni podaci o drvnim peletima, poput donje ogrjevne vrijednosti i gustoće:



- $H_d = 4,9 \text{ kWh/kg}$  [10]
- $\rho = 650 \text{ kg/m}^3$  [10]

Minimalna potrebna masa drvnih peleta kojom bi se mogla pokriti godišnja potrebna energija za grijanje iznosi:

$$m = \frac{Q_{H,nd}}{H_d} = \frac{37128}{4,9} = 7577,1 \text{ kg}$$

Iz mase se tada može dobiti i minimalan potreban volumen drvnih peleta:

$$V = \frac{m}{\rho} = \frac{7577,1}{650} = 11,66 \text{ m}^3$$

S obzirom na to da peleti ne ispunjavaju prostor u potpunosti kao što to rade tekućine, izračunata vrijednost volumena peleta nije baš reprezentativna kao vrijednost volumena spremnika goriva. Kako bi se ta činjenica uzela u obzir, dobivena vrijednost volumena peleta se uvećava za neki koeficijent sigurnosti kako bi se dobila reprezentativnija vrijednost volumena spremnika goriva. Proizvoljno je odabran koeficijent sigurnosti u iznosu od 1,2. Tada minimalan potreban volumen spremnika iznosi:

$$V_{sprem} = 1,2 \cdot V = 1,2 \cdot 11,66 = 13,98 \text{ m}^3$$

Poželjno je da stvaran volumen spremnika bude veći od izračunatog minimalno potrebnog volumena kako bi spremnik imao dovoljno goriva za pokrivanje godišnje potrebne energije za grijanje. Za ovaj sustav grijanja odabran je spremnik širine 3,1 metara, dužine 3,5 metara i visine 2,35 metara čime taj spremnik ima volumen od 17,1 kubnih metara.

#### 4.4. Dimenzioniranje dimnjaka

Cilj dimenzioniranja dimnjaka jest odabir promjera i visine dimnjaka kojim će uvjeti tlaka i temperature biti zadovoljeni. Uvjet tlaka diktira da razlika tlaka koja nastaje zbog uzgona dimnih plinova bude veća od pada tlaka zbog otpora strujanja i negativnih utjecaja vjetra i promjene brzine dimnih plinova. Uvjet temperature diktira da najniža temperatura dimnih plinova u dimnjaku bude viša od temperature kondenzacije vodene pare iz dimnih plinova kako bi se izbjegla neželjena kondenzacija i u najgorem slučaju stvaranje kiseline.

Proračun dimnjaka je proveden prema normi HRN EN 13384-1 za odabrani dimovodni sustav proizvođača Schiedel, tip HP5000, prikazan na slici 18., na koji se spaja kotao na pelete. Dimovodni sustav sastoji se od dva lima nehrđajućeg čelika između kojih je sloj izolacije, debljine ili 25 mm ili 50 mm.

#### **4.4.1. Rezultati proračuna prema HRN EN 13384-1**

Proračun je proveden za podtlačni dimnjak promjera Ø200 mm s debljinom izolacije od 50 mm i visine 17 m. Proračunom se došlo do zaključka da dimnjak s odabranim dimenzijama osigurava nesmetano strujanje dimnih plinova prema okolišu uz dovoljno visoke temperature dimnih plinova da ne dolazi do kondenzacije vodene pare.

Uvjet tlaka je zadovoljen. Podtlaka na ulazu u dimnjak ( $P_Z$ ) je veći od podtlaka potrebnog za uvođenje dimnih plinova u dimnjak ( $P_{Ze}$ ).

$$P_Z = P_H - P_R - P_L > P_{Ze} = P_W + P_{FV} + P_B$$

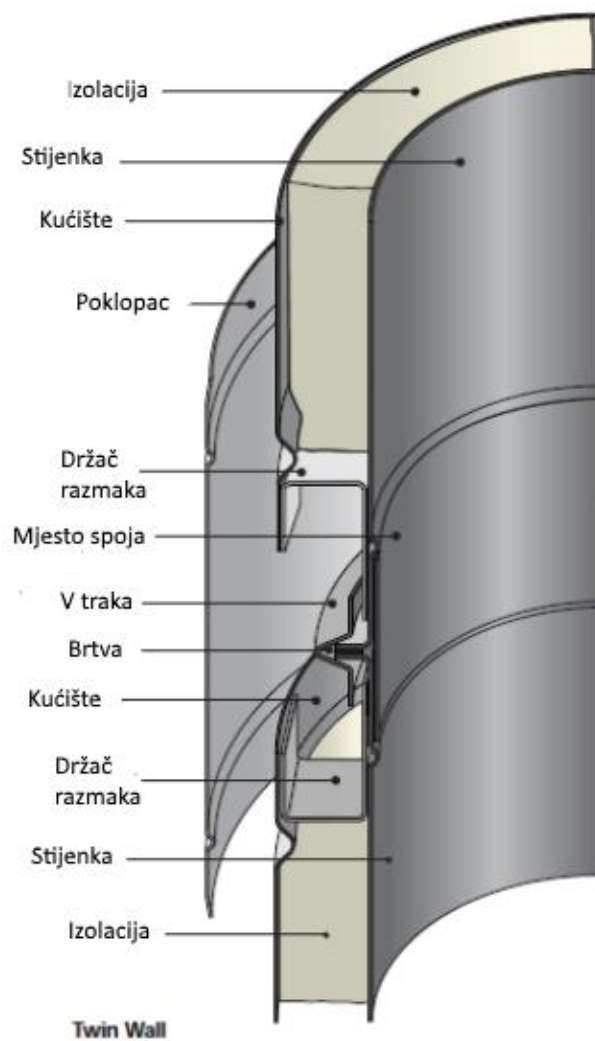
$$P_Z = 34,7 \text{ Pa} > P_{Ze} = -0,42 \text{ Pa}$$

Isto tako, uvjet temperature je ispunjen, najniža temperatura unutarnje stijenke, pri izlazu iz dimnjaka ( $T_{iob}$ ), jest manja od granične temperature, koja je za suhe dimnjake jednaka temperaturi kondenzacije dimnih plinova ( $T_{sp}$ ).

$$T_{iob} > T_{sp}$$

$$356,66 \text{ K} > 340,98 \text{ K}$$

Detaljan postupak ovog proračuna dan je u prilogu 4.



Slika 18. Dimnjak proizvođača Schiedel, tip HP5000 [11]

## 5. DIMENZIONIRANJE I ODABIR OPREME SUSTAVA

### 5.1. Akumulacijski spremnik ogrjevnice vode

U centralnim sustavima grijanja koji koriste kotao, preporučuje se upotreba akumulacijskog spremnika, pufera. Akumulacijski spremnik ugrađuje se iz nekoliko razloga. Njime se može pokriti vršna potrošnja te omogućuje opskrbu topline u vrijeme kada kotao iz nekog razloga ne bi radio. Prema uputama proizvođača HERZ, za kotao Firematic TC 80 preporučuje se spremnik zapremnine od oko 1000 litara. Prema tome je odabran akumulacijski spremnik ogrjevnice vode proizvođača Reflex, tip Storatherm Heat HF 1000/R. Karakteristike spremnika dane su u slijedećoj tablici:

**Tablica 11. Tehnički podaci akumulacijskog spremnika Storatherm Heat HF 1000/R [12]**

Veličina	Vrijednost	
Volumen	l	1000
Promjer tijela spremnika	mm	970
Vanjski promjer s izolacijom	mm	1150
Ukupna visina	mm	2115
Max. radni tlak	bar	3
Max. radna temperatura	°C	95
Toplinska izolacija	mm	90



**Slika 19. Akumulacijski spremnik Storatherm Heat HF 1000/R [12]**

## 5.2. Cijevni razvod primarnog kruga grijanja i cirkulacijska pumpa

Primarni krug povezuje kotao s akumulacijskim spremnikom ogrjevnice vode i akumulacijskim spremnikom PTV-e. Proračun se provodi kako bi se odabrale odgovarajuće dimenzije cijevi za koje se zatim izračunava pad tlaka. Preko ukupnog pada tlaka odabire se odgovarajuća cirkulacijska pumpa. Traži se da jedinični pad tlaka cijevi ne bude iznad 200 Pa/m, kako se cjevovod nalazi u kotlovnici. Dimenzioniranje je prikazano slijedećom tablicom:

**Tablica 12. Pad tlaka primarnog kruga**

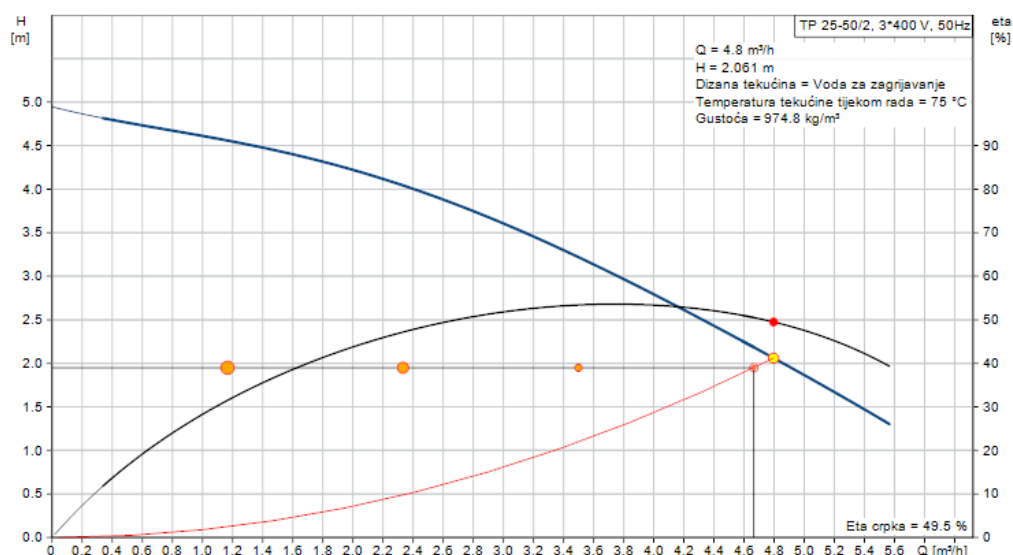
	Duljina dionice	Toplina grijanja	Protok vode	Dimenzije cijevi	Brzina strujanja	$\epsilon$	Re	$\lambda$	R	$R \cdot L$	$\sum \zeta$	Z	$RL + Z$
#	m	W	kg/s	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	10,2	80000	1,274	Cuφ54x2	0,66	$3 \cdot 10^{-5}$	$6,95 \cdot 10^4$	0,01955	84	856,8	6	1285	2142
										Pad tlaka na kotlu			14100
										Pad tlaka na armaturi			2864
											Suma		19106

- Ukupni pad tlaka primarnog kruga: 19106 Pa
- Volumenski protok pumpe: 4,66 m<sup>3</sup>/h.
- Potrebna visina dobave iznosi:  $H_p = 1,95 \text{ m}$
- Električna snaga pumpe:  $P_{el} = 85 \text{ W}$

Prema dobivenim vrijednostima protoka i visine dobave odabrana je pumpa proizvođača Grundofs tipa TP 25-50/2.



**Slika 20. Grundfos TP 25-50/2 [13]**



Slika 21. Radna krivulja pumpe primarnog kruga [13]

### 5.3. Cijevni razvod sekundarnog kruga i cirkulacijska pumpa za poslovni prostor

Kako je zgrada podijeljena na poslovni i stambeni prostor, tako period grijanja neće biti jednak za oba prostora. Zbog te činjenice poslovni i stambeni prostor imaju zaseban cirkulacijski krug grijanja. Sekundarni krug spaja akumulacijski spremnik ogrjevnog vode s ogrjevnim tijelima u zgradi. Pumpa sekundarnog kruga dimenzionira se prema najvećem padu tlaka u cijevnom razvodu. Najveći ukupni pad tlaka imat će kritično ogrjevno tijelo, a to je ono koje je najudaljenije od izvora topline. U cirkulacijskom krugu grijanja poslovnog prostora kritično ogrjevno tijelo jest 21 VM-S/600/1400 u prostoriji 0.1.1. Tijekom dimenzioniranja cjevovoda bitno je paziti da jedinični pad tlaka ne prijeđe granicu od 100 Pa/m jer prolazi kroz prostor gdje borave ljudi i buka je nepoželjna. Postupak dimenzioniranja je prikazan slijedećom tablicom:

Tablica 13. Pad tlaka sekundarnog kruga grijanja poslovnog prostora

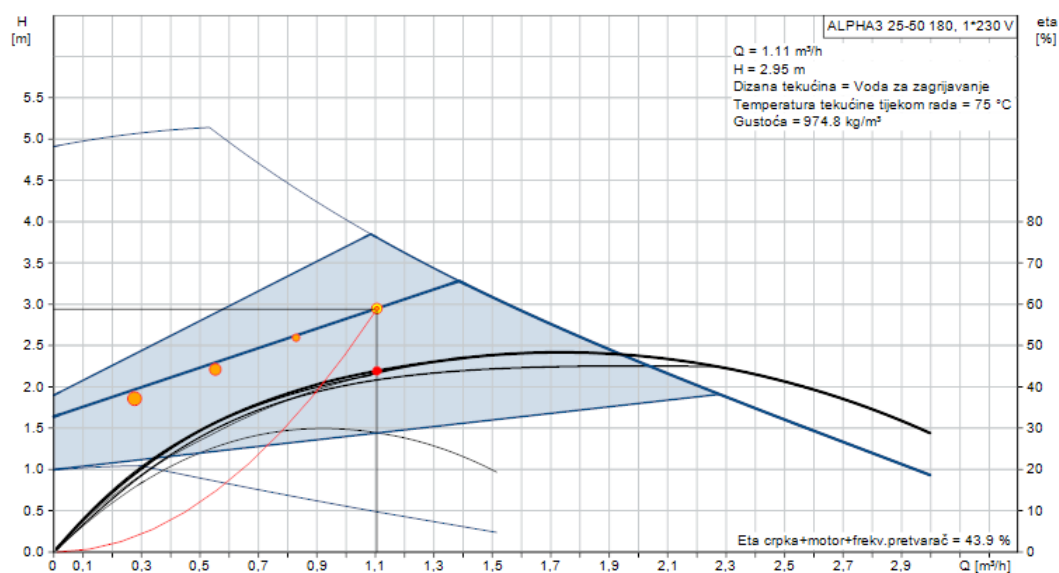
#	Duljina dionice m	Toplina grijanja W	Protok vode kg/s	Dimenzije cijevi mm	Brzina strujanja m/s	$\epsilon$ -	Re -	$\lambda$ -	R Pa/m	R · L Pa	$\sum \zeta$ -	Z Pa	RL + Z Pa
1	23,4	19016	0,303	Cuφ35x1,5	0,38	$4,69 \cdot 10^{-5}$	$2,56 \cdot 10^4$	0,02448	54	1263,6	6	710	1974
2	2,16	16996	0,271	Cuφ35x1,5	0,34	$4,69 \cdot 10^{-5}$	$2,29 \cdot 10^4$	0,02513	45	97,2	6	341	438
3	7,24	9386	0,15	Cuφ28x1,5	0,31	$6 \cdot 10^{-5}$	$1,63 \cdot 10^4$	0,02732	52	376,5	4,5	213	589
4	13,7	7357	0,117	Cuφ28x1,5	0,24	$6 \cdot 10^{-5}$	$1,26 \cdot 10^4$	0,02914	33	452,1	0,5	14	466
5	14,6	581	0,089	Cuφ22x1	0,29	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$1,22 \cdot 10^4$	0,02942	61	890,6	0,5	21	912
6	13,72	3552	0,057	Cuφ18x1	0,29	$9,38 \cdot 10^{-5}$	$9,77 \cdot 10^3$	0,0312	81	1111,3	0,5	21	1132
7	16,44	1776	0,028	Cuφ15x1	0,21	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$5,75 \cdot 10^3$	0,0361	60	986,4	3,5	76	1062
Ukupni pad tlaka na armaturi													21851
Suma													28424

- Ukupni pad tlaka primarnog kruga: 28424 Pa
- Volumenski protok pumpe: 1,11 m<sup>3</sup>/h.
- Potrebna visina dobave iznosi:  $H_p = 2,95 \text{ m}$
- Električna snaga pumpe:  $P_{el} = 19 \text{ W}$

Pomoću online aplikacije proizvođača Grundfos, odabrana je pumpa ALPHA3 25-50 180.



Slika 22. Grundfos ALPHA3 25-50 180 [13]



Slika 23. Radna krivulja pumpe sekundarnog kruga grijanja poslovnog prostora [13]

#### 5.4. Cijevni razvod sekundarnog kruga i cirkulacijska pumpa za stambeni prostor

U cirkulacijskom krugu grijanja stambenog prostora kritično ogrjevno tijelo jest 21 VM-S/600/1400 u prostoriji 4.4.4. Tokom dimenzioniranja cjevovoda bitno je paziti da jedinični pad tlaka ne prijeđe granicu od 100 Pa/m. Postupak dimenzioniranja je prikazan slijedećom tablicom:

**Tablica 14. Pad tlaka sekundarnog kruga grijanja stambenog prostora**

	Duljina dionice	Toplina grijanja	Protok vode	Dimenzije cijevi	Brzina strujanja	$\epsilon$	Re	$\lambda$	R	R · L	$\sum \zeta$	Z	RL + Z
#	m	W	kg/s	mm	m/s	-	-	-	Pa/m	Pa	-	Pa	Pa
1	18,2	53117	0,846	Cuφ54x2	0,44	$3 \cdot 10^{-5}$	$4,63 \cdot 10^4$	0,02133	41	746,2	5	476	1222
2	19,8	39116	0,623	Cuφ42x1,5	0,53	$3,85 \cdot 10^{-5}$	$4,35 \cdot 10^4$	0,02166	77	1524,6	4	52	2077
3	18,6	27553	0,439	Cuφ42x1,5	0,37	$3,85 \cdot 10^{-5}$	$3,04 \cdot 10^4$	0,0235	41	762,6	0,5	34	797
4	31,16	16418	0,262	Cuφ35x1,5	0,33	$4,69 \cdot 10^{-5}$	$2,22 \cdot 10^4$	0,02531	42	1308,7	3,5	187	1496
5	6	8523	0,136	Cuφ28x1,5	0,28	$6 \cdot 10^{-5}$	$1,47 \cdot 10^4$	0,02802	43	258	2,5	96	354
6	7,46	4675	0,074	Cuφ22x1	0,24	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$1,01 \cdot 10^4$	0,03089	44	328,2	6,5	184	512
7	2,3	4050	0,065	Cuφ22x1	0,21	$7,5 \cdot 10^{-5}$	$8,84 \cdot 10^3$	0,03201	35	80,5	3,5	76	157
8	4,8	3530	0,056	Cuφ18x1	0,28	$9,38 \cdot 10^{-5}$	$9,43 \cdot 10^3$	0,03149	76	364,8	2	77	442
9	8,5	2653	0,045	Cuφ18x1	0,21	$9,38 \cdot 10^{-5}$	$7,07 \cdot 10^3$	0,03402	46	391	2	43	434
10	4,8	176	0,028	Cuφ15x1	0,21	$1,15 \cdot 10^{-4}$	$5,75 \cdot 10^3$	0,03607	60	288	3,5	76	364
Ukupni pad tlaka na armaturi													21851
Suma													29706

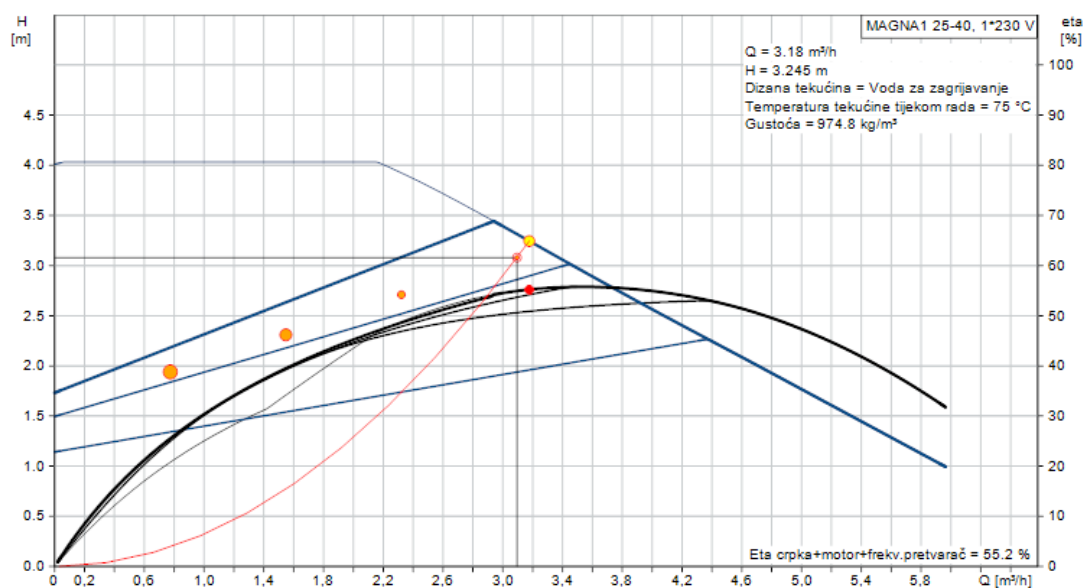
- Ukupni pad tlaka primarnog kruga: 29706 Pa
- Volumenski protok pumpe:  $3,10 \text{ m}^3/\text{h}$ .
- Potrebna visina dobave iznosi:  $H_p = 3,08 \text{ m}$
- Električna snaga pumpe:  $P_{el} = 49,5 \text{ W}$

Pomoću online aplikacije proizvođača Grundfos, odabrana je pumpa MAGNA1 25-40.



**Slika 24. Grundfos MAGNA1 25-40 [13]**





Slika 25. Radna krivulja pumpe sekundarnog kruga [13]

### 5.5. Ekspanzijska posuda sustava grijanja

U sustavima grijanja moguće su velike promjene temperature medija. Uslijed promjene temperature dolazi i do promjene gustoće, tj. promjene volumena vode. Da bi sustav zaštitili, od manjka ogrjevnog medija ili pucanja cjevovoda zbog prevelikog volumena vode, dodajemo ekspanzijsku posudu u sustav. Svrha ekspanzijske posude je kompenzacija promjene volumena ogrjevnog medija. Također ima zadatak održavanja tlaka u sustavu grijanja unutar zadanih granica. U sebi sadrži određenu količinu vode kao rezervnu zalihu, koja kompenzira manjak vode u sustavu bez potrebe nadopunjavanja sustava.

Tablica 15. Ukupni volumen vode u sustavu

	Volumen [l]
Radijatori	410,15
Cijevni razvod	296,9
Akumulacijski spremnik	1000
Kotao	179
Izmjenjivač u spremniku PTV	39,1
Ukupno, $V_A$	1925,15

Minimalni potrebni volumen zatvorene membranske ekspanzijske posude dobiva se pomoću slijedeće formule:

$$V_{n,min} = (V_e + V_V) \cdot \frac{p_e + 1}{p_e - p_o}$$

Za postotak širenja vode, uzeta je vrijednost 4,34 koja predstavlja zagrijavanje vode od 10 do granične temperature sustava, 100 °C.

$$V_V = \frac{0,5}{100} \cdot V_A = \frac{0,5}{100} \cdot 1925,15 = 9,63 \text{ l}$$

$$V_e = \frac{n \cdot V_A}{100} = \frac{4,34 \cdot 1925,15}{100} = 83,55 \text{ l}$$

Uzeto je da tlak otvaranja sigurnosnog ventila iznosi 3 bara, tako da projektni krajnji tlak iznosi 2,5 bara, a primarni tlak ekspanzijske posude mora biti 1,5 bara zbog visine instalacije. Krajnji izraz za minimalni potrebni volumen ekspanzijske posude glasi:

$$V_{n,min} = (85,83 + 9,89) \cdot \frac{2,5 + 1}{2,5 - 1,5} = 326,12 \text{ l}$$

Prema minimalnom potrebnom volumenu odabrana je zatvorena membranska ekspanzijska posuda proizvođača Imera, tip RV 400 volumena 400 litara.



Slika 26. Ekspanzijska posuda proizvođača Imera, tip RV 400 [14]

## 5.6. Kalorimetrija

U svrhu individualnog mjerenja potrošnje toplinske energije za grijanje svake vlasničke cjeline, u sustav na povratni vod cjevovoda se ugrađuju kalorimetri. Oni mjere protok vode u povratnom vodu, kao i temperaturu vode u povratnom i polaznom vodu cjevovoda. Preko temperaturne razlike polazne i povratne vode, protoka vode i poznatog toplinskog koeficijenta vode računaju toplinsku energiju koja se utrošila. Radi lakšeg isčitavanja, kalorimetri su smješteni u podžbuknim ormarićima s revizijskim otvorom kod ulaza u pojedini stan. Odabran je kalorimetar proizvođača Danfoss, tip SONOMETER™ 1100.



Slika 27. Kalorimetar SONOMETER™ 1100 [15]

## 6. SUSTAV PRIPREME POTROŠNE TOPLE VODE

### 6.1. Opis sustava

Sustav pripreme PTV zamišljen je kao centralizirani akumulacijski sustav s indirektnim zagrijavanjem, dakle dio ogrjevnice vode se, na troputnom razdjelnom ventilu u polaznomvodu primarnog kruga, izdvoji za zagrijavanje PTV. Razvodni cjevovod sustava PTV je od akumulacijskog spremnika PTV do izljevniha mjesta stalno ispunjen toplom vodom. Ako neko vrijeme nije došlo do potrošnje vode, temperatura joj pada. Upravo zbog tog razloga ugrađen je recirkulacijski vod s pumpom. Zadatak pumpe je da miješa ohlađenu vodu u cijevima sa toplom vodom u spremniku i tako način održava potrebnu temperaturu vode na izljevnim mjestima.

### 6.2. Dimenzioniranje spremnika PTV

Potrebno je dimenzionirati spremnik PTV tako da može pokriti vršnu potrošnju PTV. Volumen se dobije korištenjem nekoliko jednostavnih formula.

Ulazni podaci:

- Volumen vode najvećeg trošila (kada) :  $V_w = 200 \text{ l}$
- Gustoća vode:  $\rho_w = 1000 \text{ kg/m}^3$
- Broj stanova:  $n = 17$
- Specifični toplinski kapacitet vode:  $c_w = 4,2 \text{ kJ/kgK}$
- Temperatura tople vode:  $\vartheta_{tw} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$
- Temperatura hladne vode:  $\vartheta_{hw} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$
- Faktor istovremenosti (vrijednost uzeta iz [16]):  $\varphi = 0,42$
- Temperatura vode u spremniku:  $\vartheta_s = 60 \text{ }^\circ\text{C}$
- Vrijeme punjenja spremnika:  $Z_a = 1,5 \text{ h}$
- Vrijeme zagrijavanja vode u spremniku:  $Z_b = 2 \text{ h}$
- Dodatak zbog mrtvog prostora ispod grijane površine spremnika:  $b = 1,1$

Potreban toplinski tok za zagrijavanje PTV:

$$\Phi = V_w \cdot \rho_w \cdot c_w \cdot (\vartheta_{tw} - \vartheta_{hw}) \cdot n \cdot \varphi$$

$$\Phi = \frac{200 \cdot 10^{-3}}{3600} \cdot 1000 \cdot 4,2 \cdot (45 - 10) \cdot 17 \cdot 0,42 = 58,31 \text{ kW}$$

Potreban kapacitet izvora topline (kotao):

$$\Phi_k = \frac{\Phi \cdot Z_b}{Z_a + Z_b}$$

$$\Phi_k = \frac{58,31 \cdot 2}{1,5 + 2} = 33,32 \text{ kW}$$

Toplinska energija akumulirana u spremniku:

$$Q_{sprem} = Z_a \cdot \Phi_k = 1,5 \cdot 33,32 = 49,98 \text{ kWh}$$

Minimalni potrebni volumen spremnika PTV:

$$V_{sprem} = \frac{Q_{sprem} \cdot b}{\rho_w \cdot c_w \cdot (\vartheta_s - \vartheta_{hw})}$$

$$V_{sprem} = \frac{49,98 \cdot 1,1 \cdot 1000 \cdot 3600}{1000 \cdot 4,2 \cdot (60 - 10)} = 942,48 \text{ l}$$

Uzima se spremnik s volumenom Odabran je akumulacijski spremnik potrošne tople vode proizvođača Reflex, tip Storatherm Aqua AF 1000/1. U donjem dijelu spremnika je ugrađen izmjenjivač. Tim izmjenjivačem kotao može zagrijati PTV na željenu temperaturu. Tehničke karakteristike spremnika dane su u tablici 16.

**Tablica 16. Tehničke karakteristike akumulacijskog spremnika PTV [12]**

Veličina	Vrijednost	
Volumen	l	1000
Promjer tijela spremnika	mm	1200
Vanjski promjer	mm	1400
Ukupna visina	mm	2216
Masa	kg	480
Max. radni tlak	bar	10
Max. radna temperatura	°C	95
Toplinska izolacija	mm	100



**Slika 28. Akumulacijski spremnik za PTV proizvođača Reflex, tip Storatherm Aqua AF 1000/1 [12]**

### 6.3. Dimenzioniranje recirkulacijske pumpe PTV-e

Proračun proveden prema Recknagel, Grejanje i klimatizacija [16]

Volumenski protok vode recirkulacijske pumpe:

$$V_p = \frac{Q_w}{2,4} = \frac{l_{w,k} \cdot q_{w,k} + l_{ws} \cdot q_{w,s}}{2,4} = \frac{6,5 \cdot 12 + 86,6 \cdot 7}{2,4} = 285,32 \frac{l}{h}$$

Gdje su:

- $l_{w,k}$  - dužina svih vodova tople vode u podrumu [m]
- $q_{w,k}$  - toplinski gubici vodova tople vode smještenih u podrumu, uzeto iz [16] da iznosi 12 W/m
- $l_{ws}$  - dužina svih vertikalnih vodova tople vode [m]
- $q_{w,s}$  - toplinski gubici vertikalnih vodova tople vode, uzeto iz [16] da iznosi 7 W/m

Za recirkulacijski vod, odabrana je dimenzija cijevi Cu  $\phi$  22 x 1 mm. Brzina strujanja vode kroz recirkulacijski vod iznosi 0,25 m/s.

Za izračun pada tlaka u recirkulacijskomvodu, tj. potrebne dobave recirkulacijske pumpe, potrebno je imati slijedeće vrijednosti:

- Ukupni linijski pad tlaka cjevovoda:  $\sum l \cdot R = 1328 \text{ Pa}$
- Pad tlaka u nepovratnom ventilu (vrijednost dana u [14]):  $\Delta p_{RV} = 6000 \text{ Pa}$
- Pad tlaka na termostatskom ventilu:  $\Delta p_{TH} = 2500 \text{ Pa}$

$$\Delta p_p = 1,4 \cdot \left( \sum l \cdot R \right) + \Delta p_{RV} + \Delta p_{TH} \text{ [Pa]}$$

$$\Delta p_p = 1,4 \cdot 1328 + 6000 + 2500 = 10359 \text{ Pa}$$

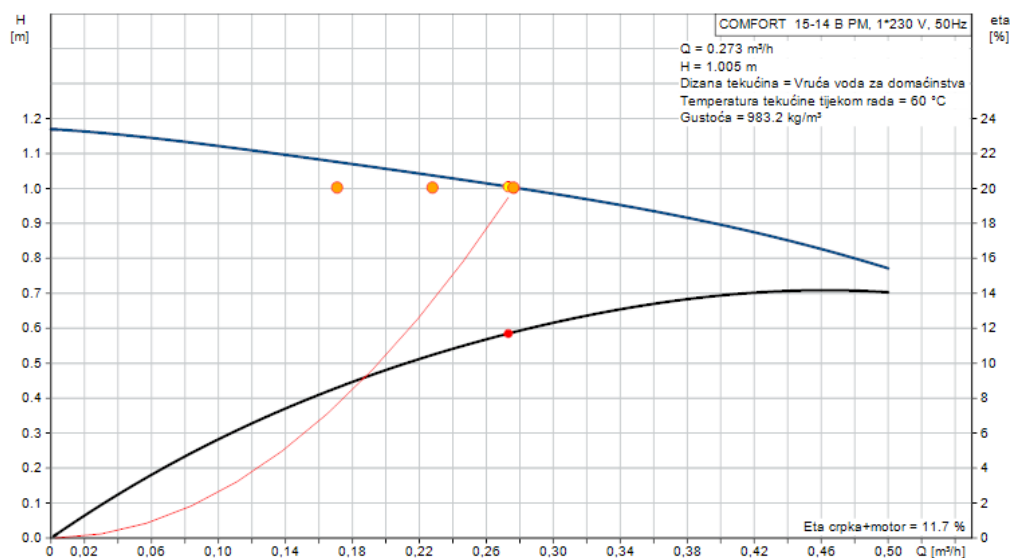
Visina dobave iznosi:

$$H_p = \frac{\Delta p_p}{\rho \cdot g} = 1,06 \text{ m}$$

Prema dobivenim vrijednostima visine dobave i protoka, odabrana je pumpa proizvođača Grundfos, tip COMFORT 15-14 B PM.



**Slika 29. Recirkulacijska pumpa Grundfos, tip COMFORT 15-14 B PM [13]**



**Slika 30. Radna karakteristika recirkulacijske pumpe PTV [13]**

## 7. TEHNIČKI OPIS SUSTAVA

### 7.1. Sustav grijanja

Sustav grijanja predviđen je kao centralni dvocijevni sustav grijanja temperaturnog režima 75/60 °C s radijatorima i akumulacijskim spremnikom ogrjevnog vode. Cjevovod sustava je sastavljen od bakrenih cijevi s izolacijom proizvođača Armacell, tip AF/Armaflex. Ukupni toplinski gubici zgrade iznose 67415 W na korisnu površinu zgrade 1423 m<sup>2</sup>. U svrhu pokrivanja toplinskih gubitaka zgrade, sustav osigurava ukupni toplinski učin ogrjevnih tijela koji iznosi 72133 W. Izvor topline je kotao na pelete proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80, ogrjevnog učina 80 kW. Peleti se u kotao dobivaju pomoću fleksibilnog pužnog transportera koji transportira pelete iz prostorije koja služi kao spremnik goriva. Spremnik ima skošene strane tako da peleti mogu pod gravitacijom slobodno padati na transporter. Punjenje spremnika se obavlja preko otvora na stropu. Postoji cestovni pristup otvoru spremnika, tako da je punjenje uz pomoć vozila moguće. Centralna upravljačka jedinica proizvođača HERZ, T-Control, upravlja radom kotla, održavajući temperaturu vode u sustavu konstantnom u ovisnosti o vanjskoj temperaturi. Za zaštitu sustava ugrađena je zatvorena membranska ekspanzijska posuda proizvođača Imera, tip RV 400. Sustav grijanja se sastoji od primarnog i sekundarnog kruga. Sekundarni krug se sastoji od kruga grijanja poslovnog prostora i kruga grijanja stambenog prostora. Pumpa primarnog kruga sustava grijanja jest tip TP 25-50/2 od proizvođača Grundfos (  $H_p = 1,95 \text{ m}$ ,  $q_v = 4,66 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $P_{el} = 85 \text{ W}$  ). Pumpa sekundarnog kruga grijanja poslovnog prostora je ALPHA3 25-50 180 od proizvođača Grundfos (  $H_p = 2,95 \text{ m}$ ,  $q_v = 1,11 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $P_{el} = 19 \text{ W}$  ), a stambenog prostora je MAGNA1 25-40 od proizvođača Grundfos (  $H_p = 3,08 \text{ m}$ ,  $q_v = 3,10 \text{ m}^3/\text{h}$ ,  $P_{el} = 49,5 \text{ W}$  ). Primarni krug povezuje kotao s akumulacijskim spremnikom ogrjevnog vode, dok sekundarni krug povezuje taj akumulacijski spremnik sa potrošačima. Odabran je akumulacijski spremnik ogrjevnog vode od proizvođača Reflex, tip Storatherm Heat HF 1000/R. Stanovi i poslovni prostor grijani su pločastim radijatorima proizvođača Vogel & Noot, tip T6. Kupaonice su opremljene kupaonskim grijačima proizvođača Vogel & Noot, tip DELLA WAVE. Temperatura prostorije se regulira termostatskim ventilima proizvođača Danfoss, tip RA 2000 na radijatorima. Na vertikalama razvoda ugrađeni su balansirajući ventili proizvođača Danfoss, tip ASV-M i ASV-PV, kako bi održavali razliku tlaka konstantnom na strani potrošača i pri promjenjivom protoku. Mjerenje potrošnje toplinske energije za svaki stan se obavlja uz pomoć kalorimetra proizvođača Danfoss, tip SONOMETER<sup>TM</sup> 1100. Kalorimetri su smješteni



u podžbuknim ormarićima s revizijskim otvorom te su okrenuti prema hodniku tako da je omogućeno očitavanje kalorimetra. Podžbukni ormarići se ugrade u zid pokraj ulaznih vrata stana u koji cijevni razvod ulazi.

## 7.2. Sustav pripreme potrošne tople vode

Potrošna topla voda se priprema indirektnim zagrijavanjem u akumulacijskom spremniku pomoću kotla. Dio ogrjevnice vode se preusmjerava troputnim razdjelnim ventilom prema izmjenjivaču u akumulacijskom spremniku potrošne tople vode. Odabran je akumulacijski spremnik potrošne tople vode proizvođača Reflex, tip Storatherm Aqua AF 1000/1. U spremniku se PTV grije na temperaturu od 60°C kako bi se spriječio razvitak bakterija i voda održala higijenski čistom. Sustav ima ugrađenu recirkulacijsku pumpu proizvođača Grundfos, tip COMFORT 15-14 B PM, koja se periodički uključuje da odvede ohlađenu vodu iz cjevovoda PTV, kako bi se osigurala dostupnost tople vode tražene temperature odmah pri otvaranju slavine. Za mjerenje potrošnje potrošne tople vode, pri ulazu u svaki stan nalazi se vodomjer koji mjeri količinu vode koja je ušla u stan.

## 7.3. Regulacija sustava

Regulacijom primarnog kruga sustava grijanja upravlja centralna upravljačka jedinica T-Control koja je ugrađena na kotao proizvođača HERZ, tip Firematic TC 80. Na regulator su priključeni:

- osjetnik vanjske temperature
- osjetnici temperature povratnog voda
- osjetnici u spremnicima
- graničnici temperature polaznog voda

Regulator upravlja sa svim regulacijskim komponentama primarnog kruga grijanja u svrhu regulacije temperature polaznog voda kao i održavanja potrebne temperature vode u spremniku PTV. Temperaturni osjetnik smješten izvan zgrade daje signal upravljačkoj jedinici po kojem se regulira temperatura polaznog voda. Regulator upravlja s troputnim razdjelnim ventilima, od kojih s jednim usmjerava vodu polaznog toka prema međuspremniku ili spremniku PTV za održavanje zadane temperature, a s drugim usmjerava vodu u povratni

vod u svrhu zaštite kotla od niskotemperaturne korozije. Također upravlja i s troputnim miješajućim ventilom u sekundarnom krugu uz pomoć kojeg se regulira temperatura polaznog voda prema potrošačima. Radom pumpi, i primarnog i sekundarnog kruga sustava grijanja, također upravlja regulator.

U samim stanovima, regulacija temperature prostorije vrši se preko termostatskih ventila proizvođača Danfoss, tip RA 2000, koji su ugrađeni na radijatore s pretpodešenom  $k_v$ -vrijednošću u skladu sa snagom radijatora. Da bi termostatski ventili učinkovito funkcionirali i pri djelomičnom opterećenju sustava, potrebni su i automatski balansirajući ventili koji će držati razliku tlaka na strani potrošača konstantnom. U sustavu su instalirani balans ventili proizvođača Danfoss ASV-M i ASV-PV. Balans ventili se instaliraju pri dnu svake vertikale, ili prije horizontalnog cijevnog razvoda s puno ogrjevnih tijela. Bez automatskih balans ventila, sustav ne bi bio hidraulički uravnotežen i dolazilo bi do velikih padova tlaka na termostatskim ventilima kod djelomičnog opterećenja.

## 8. ZAKLJUČAK

U sklopu ovog završnog rada izrađeno je rješenje sustava grijanja stambeno poslovne zgrade u skladu sa svim pravilnicima i normama. Kod dimenzioniranja i odabira komponenata sustava stavljala se pažnja na opremu da ne bude predimenzionirana niti poddimenzionirana, kako bi se omogućio pravilan rad sustava. Pod pravilnim radom sustava se misli na rad sustava sa minimalnim pogonskim troškovima, što jednostavnijim prilagođavanjem rada sustava prema potrebama korisnika te što manjim zastoјima u radu uslijed kvarova. Ekonomska analiza pogonskih i investicijskih troškova sustava nije bila predmet rada. Izvorno je ova zgrada bila planirana da se pojedinačni stanovi griju pomoću plinskih bojlera, a ne centralnim sustavom i to je zahtjevalo da se naprave neke izmjene u zgradi kako bi se zamišljeni sustav grijanja mogao instalirati. Za potrebe grijanja predviđen je kotao na pelete. Peleti se smatraju obnovljivim izvorom topline i ekološki prihvatljivim jer su CO<sub>2</sub> neutralni, ali ih je potrebno vozilom dovoziti do spremnika. Kotao je smješten u kotlovnici čime se smanjuje korisna površina zgrade, ali prednost je da se sustav održavanja ne nalazi u stanovima. Korištenjem ukopanog spremnika goriva se sprječava smanjenje korisne površine zgrade sustavom dobave goriva.

## LITERATURA

- [1] - I. Balen: Podloge za predavanja iz kolegija „Grijanje“, FSB, Zagreb
- [2] - José A. Orosa Jose, „A Review of General and Local Thermal Comfort Models for Controlling Indoor Ambiences“
- [3] - Novaterm, <http://novaterm.me/centralno-grijanje/>
- [4] - Vogel&Noot, <http://www.vogelundnoot.com/>
- [5] - HERZ, <http://www.herz-energie.at/en/>
- [6] - Global Radiatori, <http://globalradiatori.it/ENG/Home.asp>
- [7] - Centrometal, <https://www.centrometal.hr/>
- [8] - Google maps, Google
- [9] - Vogel&Noot, „Technical data-Heat emission systems“, 2014
- [10] - Drvni peleti, <http://www.drvnipelet.hr>
- [11] - Schiedel, <https://www.schiedel.com/company/>
- [12] - Reflex, <http://www.reflex.de/en/>
- [13] - Grundfos, <http://www.grundfos.com/>
- [14] - Imera, <http://www.imeratanks.com/home/>
- [15] - Danfoss, <http://heating.danfoss.hr/home/#/>
- [16] - Reckangel, Šprenger, Šramek, Čeperković, „Grejanje i klimatizacija“, Interklima, Vrnjačka Banja, 2004.
- [17] - Soldo, Novak, Horvat, „Algoritam za proračun potrebne energije za grijanje i hlađenje zgrade prema HRN EN ISO 13790“, Zagreb, 2014
- [18] - DHMZ, <http://meteo.hr/index.php>
- [19] - „Tehnički propis o racionalnoj uporabi energije i toplinskoj zaštiti u zgradama“

## **Prilog 1 – Rezultati proračuna toplinskih gubitaka prema HRN EN 12831**

**Tablica 17. Toplinski gubici pojedine prostorije zgrade**

Oznaka -	Prostorija -	$\vartheta_{int}$ [°C]	$A_k$ [m <sup>2</sup> ]	$\Phi_T$ [W]	$\Phi_V$ [W]	$\Phi_{RH}$ [W]	$\Phi_N$ [W]	$\Phi_N/A_k$ [W/m <sup>2</sup> ]
0.1.1.	Poslovni prostor	20	326,87	8135	5318	1961	15414	47
0.1.2.	Hodnik	15	3,38	49	47	20	116	34
0.1.3.	Kuhinja	20	7,30	564	356	44	963	131
0.1.4.	Muški WC	20	6,64	336	324	40	700	105
0.1.5.	Ženski WC	20	3,36	71	164	20	255	75
1.1.1.	Hodnik	15	3,88	30	46	23	99	25
1.1.2.	Dnevni boravak i kuhinja	20	25,79	541	362	155	1057	41
1.1.3.	Spavaća soba	20	11,72	376	164	70	610	52
1.1.4.	Kupaonica	24	5,38	177	254	32	463	86
1.2.1.	Dnevni boravak i kuhinja	20	20,79	522	292	125	938	45
1.2.2.	Spavaća soba	20	12,27	415	172	74	660	53
1.2.3.	Hodnik	15	8,82	26	105	53	183	20
1.2.4.	Kupaonica	24	6,93	133	327	42	501	72
1.3.1.	Dnevni boravak i kuhinja	20	39,70	776	557	238	1581	39
1.3.2.	Hodnik	15	9,57	0	114	57	171	17
1.3.3.	WC	20	2,69	48	113	16	177	65
1.3.4.	Kupaonica	24	5,91	209	279	35	523	88
1.3.5.	Spavaća soba 1	20	11,98	239	168	72	478	39
1.3.6.	Spavaća soba 2	20	8,97	243	126	54	422	47
1.3.7.	Spavaća soba 3	20	18,33	460	257	110	826	45
1.4.1.	Dnevni boravak i kuhinja	20	39,70	803	557	238	1598	40
1.4.2.	Hodnik	15	9,10	0	108	55	162	17
1.4.3.	WC	20	2,69	48	113	16	177	65
1.4.4.	Kupaonica	24	5,91	209	279	35	523	88
1.4.5.	Spavaća soba 1	20	11,11	278	156	67	500	45
1.4.6.	Spavaća soba 2	20	8,97	243	126	54	422	47
1.4.7.	Spavaća soba 3	20	9,16	244	129	55	427	46
1.4.8.	Spremište	15	1,75	0	21	11	31	17
1.5.1.	Dnevni boravak i kuhinja	20	39,70	889	557	238	1684	42
1.5.2.	Hodnik	15	9,10	0	108	55	162	17
1.5.3.	WC	20	2,69	48	113	16	177	65
1.5.4.	Kupaonica	24	5,91	209	279	35	523	88

1.5.5.	Spavaća soba 1	20	11,51	386	161	69	616	53
1.5.6.	Spavaća soba 2	20	8,97	229	126	54	408	45
1.5.7.	Spavaća soba 3	20	9,16	241	129	55	424	46
1.5.8.	Spremište	15	1,80	63	21	11	94	52
2.1.1.	Hodnik	15	9,00	43	107	54	204	22
2.1.2.	Dnevni boravak i kuhinja	20	27,00	456	379	162	997	36
2.1.3.	Kupaonica	24	6,74	209	318	40	567	84
2.1.4.	Spavaća soba 1	20	8,24	271	116	49	439	52
2.1.5.	Spavaća soba 2	20	11,22	341	157	67	565	50
2.2.1.	Ulazni prostor	15	3,51	36	42	21	99	28
2.2.2.	Kupaonica	24	5,07	185	239	30	454	89
2.2.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	27,33	529	383	164	1075	39
2.2.4.	Spavaća soba	20	13,61	239	191	82	511	37
2.3.1.	Ulazni prostor	15	3,51	36	42	21	99	28
2.3.2.	Kupaonica	24	5,07	185	239	30	454	89
2.3.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	27,33	505	383	164	1051	38
2.3.4.	Spavaća soba	20	13,61	239	191	82	511	37
2.4.1.	Dnevni boravak i kuhinja	20	41,88	1023	587	251	1861	44
2.4.2.	Kupaonica	24	5,02	123	237	30	390	77
2.4.3.	Spavaća soba 1	20	12,60	442	177	76	694	55
2.4.4.	Spavaća soba 2	20	19,10	233	268	115	615	32
3.1.1.	Ulazni prostor	15	6,36	35	76	38	149	23
3.1.2.	Kupaonica	24	6,03	197	284	36	517	85
3.1.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	24,10	412	338	145	894	37
3.1.4.	Spavaća soba 1	20	7,81	235	110	47	391	50
3.1.5.	Spavaća soba 2	20	11,22	346	157	67	570	50
3.2.1.	Ulazni prostor	15	4,09	28	49	25	101	24
3.2.2.	Kupaonica	24	6,66	182	314	40	535	80
3.2.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	25,83	425	362	155	941	36
3.2.4.	Spavaća soba	20	12,40	220	174	74	468	37
3.3.1.	Ulazni prostor	15	4,09	28	49	25	101	24
3.3.2.	Kupaonica	24	6,66	182	314	40	535	80
3.3.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	25,83	425	362	155	941	36
3.3.4.	Spavaća soba	20	12,40	220	174	74	468	37
3.4.1.	Ulazni prostor	15	7,31	202	87	44	332	45

3.4.2.	WC	20	2,13	81	89	13	182	85
3.4.3.	Kupaonica	24	7,63	161	360	46	566	74
3.4.4.	Dnevni boravak i kuhinja	20	35,56	603	499	213	1315	37
3.4.5.	Spavaća soba 1	20	10,50	398	147	63	608	57
3.4.6.	Spavaća soba 2	20	15,96	306	224	96	625	39
4.1.1.	Ulazni prostor	15	6,36	70	76	38	184	28
4.1.2.	Kupaonica	24	6,03	221	284	36	541	89
4.1.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	24,10	567	338	145	1049	43
4.1.4.	Spavaća soba 1	20	7,99	330	112	48	489	61
4.1.5.	Spavaća soba 2	20	11,22	498	157	67	722	64
4.2.1.	Ulazni prostor	15	4,09	50	49	25	123	30
4.2.2.	Kupaonica	24	6,66	217	314	40	570	85
4.2.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	25,87	636	363	155	1154	44
4.2.4.	Spavaća soba	20	12,40	307	174	74	555	44
4.3.1.	Ulazni prostor	15	4,09	50	49	25	123	30
4.3.2.	Kupaonica	24	6,77	217	319	41	576	85
4.3.3.	Dnevni boravak i kuhinja	20	25,87	636	363	155	1154	44
4.3.4.	Spavaća soba	20	12,40	303	174	74	551	44
4.4.1.	Ulazni prostor	15	7,31	282	87	44	412	56
4.4.2.	WC	20	2,13	110	89	13	211	99
4.4.3.	Kupaonica	24	7,68	201	362	46	609	79
4.4.4.	Dnevni boravak i kuhinja	20	35,26	981	495	212	1687	47
4.4.5.	Spavaća soba 1	20	10,69	546	150	64	760	71
4.4.6.	Spavaća soba 2	20	15,96	473	224	96	792	49
ukupno			1422,8	33735	24932	8537	67152	47,2



**Prilog 2 - Proračun godišnje potrebne toplinske energije za  
grijanje  $Q_{H,nd}$  prema HRN EN ISO 13790**

**Zona 1 (poslovni prostor)**

Koeficijent transmisivskih toplinskih gubitaka:

- $H_{tr} = 271,3 \text{ W/K}$

Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka:

- $H_{ve} = 168,8 \text{ W/K}$

Toplinski dobici od sunčeva zračenja:

- $F_c = 0,3$  - žaluzine, rolete, kapci (škure, grilje)
- $g_{\perp} = 0,6$  - dvostruko izolirajuće staklo s jednm staklom niske emisije
- $F_W = 0,9$
- $g_{gl} = 0,54$
- $g_{gl+sh} = 0,162$
- $f_{with}$  - udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Zagreb, prikazano u slijedećoj stanici

**Tablica 18. Vrijednosti udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Zagreb**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	0	0,29	0,75	0,33	0	0	0,67	0,69
Veljača	0	0,38	0,72	0,37	0	0	0,69	0,66
Ožujak	0	0,44	0,66	0,41	0,06	0,06	0,63	0,6
Travanj	0	0,53	0,65	0,51	0,17	0,19	0,65	0,62
Svibanj	0	0,51	0,55	0,51	0,28	0,28	0,6	0,57
Lipanj	0	0,56	0,5	0,51	0,32	0,34	0,55	0,53
Srpanj	0	0,55	0,62	0,57	0,29	0,33	0,62	0,64
Kolovoz	0	0,58	0,72	0,62	0,28	0,25	0,7	0,71
Rujan	0	0,57	0,76	0,54	0,1	0,11	0,72	0,73
Listopad	0	0,48	0,71	0,4	0	0	0,68	0,65
Studen	0	0,2	0,71	0,2	0	0	0,61	0,67
Prosinac	0	0,14	0,62	0,26	0	0	0,49	0,55

- $F_{sh,gl}$  - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja

**Tablica 19. Vrijednosti faktora smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	1	0,797	0,475	0,769	1	1	0,531	0,517
Veljača	1	0,734	0,496	0,741	1	1	0,517	0,538
Ožujak	1	0,692	0,538	0,713	0,958	0,958	0,559	0,58
Travanj	1	0,629	0,545	0,643	0,881	0,867	0,545	0,566
Svibanj	1	0,643	0,615	0,643	0,804	0,804	0,58	0,601
Lipanj	1	0,608	0,65	0,643	0,776	0,762	0,615	0,629
Srpanj	1	0,615	0,566	0,601	0,797	0,769	0,566	0,552
Kolovoz	1	0,594	0,496	0,566	0,804	0,825	0,51	0,503
Rujan	1	0,601	0,468	0,622	0,93	0,923	0,496	0,489
Listopad	1	0,664	0,503	0,72	1	1	0,524	0,545
Studen	1	0,86	0,503	0,86	1	1	0,573	0,531
Prosinac	1	0,902	0,566	0,818	1	1	0,657	0,615

- $F_F = 0,2$

#### Prozori:

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$A_{pr}$	2,2	0	46,5	19,5

- $A_{sol,k}$  - prikazan u sljedećoj tablici:

**Tablica 20. Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	0,95	0	9,54	6,48	0	0	0	0
Veljača	0,95	0	9,96	6,24	0	0	0	0
Ožujak	0,95	0	10,81	6,01	0	0	0	0
Travanj	0,95	0	10,95	5,42	0	0	0	0
Svibanj	0,95	0	12,35	5,42	0	0	0	0
Lipanj	0,95	0	13,06	5,42	0	0	0	0
Srpanj	0,95	0	11,37	5,06	0	0	0	0
Kolovoz	0,95	0	9,96	4,77	0	0	0	0
Rujan	0,95	0	9,40	5,24	0	0	0	0
Listopad	0,95	0	10,10	6,07	0	0	0	0
Studen	0,95	0	10,10	7,24	0	0	0	0
Prosinac	0,95	0	11,37	6,89	0	0	0	0

- $F_{r,k} = 0,5$  - faktor oblika između otvora  $k$  i neba, nezasjenjeni okomiti zid
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $U_{c,pr} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $h_r = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\Delta\vartheta_{er} = 10^\circ\text{C}$

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$\phi_{r,k}$	4,75	0	100,4	42,1

**Tablica 21. Srednja dozračena sunčeva energija za proračunski period ( $\text{MJ/m}^2$ )**

90°	Strane svijeta								
Mjesec	S	I	J	Z	SI	SZ	JI	JZ	hor.
Siječanj	51	87	166	87	51	51	135	135	115
Veljača	72	136	227	136	72	72	193	193	175
Ožujak	125	238	307	238	125	125	290	290	340
Travanj	164	319	309	319	185	185	336	336	461
Svibanj	207	396	315	396	291	291	373	373	612
Lipanj	214	410	299	410	327	327	365	365	652
Srpanj	214	435	324	435	328	328	395	395	676
Kolovoz	187	383	339	383	239	239	386	386	574
Rujan	135	296	349	296	136	136	347	347	427
Listopad	95	202	323	202	95	95	280	280	268
Studen	56	97	180	97	56	56	148	148	125
Prosinac	41	63	119	63	41	41	97	97	87

- $Q_{sol,pr} [kWh]$

**Tablica 22. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz prozore**

Mjesec	Strane svijeta								ukupno
	S	I	J	Z	SI	SZ	JI	JZ	
Siječanj	11,7	0	402,6	140,9	0	0	0	0	555,2
Veljača	17,4	0	594,5	221,7	0	0	0	0	833,6
Ožujak	31,2	0	884,3	381,4	0	0	0	0	1296,9
Travanj	41,6	0	903,5	464,8	0	0	0	0	1409,9
Svibanj	52,9	0	1043,6	580,2	0	0	0	0	1676,7
Lipanj	54,8	0	1048,3	601,7	0	0	0	0	1704,8
Srpanj	54,7	0	985,9	596,1	0	0	0	0	1636,7
Kolovoz	47,6	0	900,9	491,6	0	0	0	0	1440,1
Rujan	33,9	0	875,2	415,7	0	0	0	0	1324,8
Listopad	23,3	0	869,2	324,7	0	0	0	0	1217,2
Studen	13,1	0	469,1	180,0	0	0	0	0	662,2
Prosinac	9,1	0	338,5	104,9	0	0	0	0	452,4

#### Zidovi:

- $F_{r,k} = 0,5$  - nezasjenjeni okomiti zid
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $U_{c,pr} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\alpha_{sc} = 0,4$

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$A_z$	110	42,3	55,8	22,2
$A_{sol,z}$	0,35	0,14	0,18	0,07
$\phi_{r,k}$	39,6	15,2	20,1	7,9

- $Q_{sol,z} [kWh]$

**Tablica 23. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz zidove**

Mjesec	S	I	J	Z	ukupno
Siječanj	-9,75	-0,68	0,76	-1,25	-10,92
Veljača	-6,27	0	4,51	0	-1,76
Ožujak	-2,51	0,93	7,75	1,72	7,89
Travanj	1,78	1,85	8,09	3,41	15,13
Svibanj	5,51	2,62	8,15	4,83	21,10
Lipanj	6,67	2,82	7,59	5,20	22,28
Srpanj	6,19	3,03	8,59	5,60	23,42
Kolovoz	3,55	2,48	9,34	4,57	19,94
Rujan	-1,06	1,60	10,07	2,96	13,58
Listopad	-5,44	0,55	8,54	1,01	4,66
Studeni	-8,78	-0,52	1,70	-0,96	-8,57
Prosinac	-10,72	-0,94	-1,57	-1,73	-14,95

- $Q_{sol} [kWh]$  – ukupna srednja dozračena energija sunčevog zračenja

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
544,34	831,91	1304,91	1425,16	1697,86	1727,20	1660,26	1460,13	1338,53	1221,96	653,65	437,53

- $Q_{int} [kWh]$  - unutarnji dobici

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
1551,42	1401,28	1551,42	1501,37	1551,42	1501,37	1551,42	1551,42	1501,37	1551,42	1501,37	1551,42

- $Q_{gn} [kWh]$  - ukupni toplinski dobici

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
2096	2233	2856	2927	3249	3229	3212	3012	2840	2773	2155	1989

- $Q_{tr}$  i  $Q_{ve} [kWh]$  - transmisijski i ventilacijski toplinski gubici

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
$Q_{tr}$	4016	3281	2745	1718	827	136	0	0	761	1836	2754	3754
$Q_{ve}$	2499	2042	1708	1069	514	85	0	0	474	1142	1713	2336
$Q_{ht}$	6516	5324	4453	2789	1343	222	0	0	1236	2980	4468	6092

- $\tau = 37,74$
- $a_H = 3,51$
- $\eta_{H,gn} [-]$

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac
0,99	0,97	0,91	0,76	0,40	0,07	1,00	1,00	0,42	0,81	0,96	0,99

- $Q_{H,nd,cont} [kWh]$

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac
4448	3153	1845	564	36	-1	0	0	37	744	2401	4127

Mjesec	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studen	Prosinac
Br.dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Br.sati	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
$\vartheta_{e,m}$	0,1	2	6,4	11,2	15,9	19,3	21	20,3	16,1	10,9	5,9	1,4
$Q_{tr,m}$	4017	3282	2745	1719	828	137	0	0	762	1837	2754	3754
$Q_{ve,m}$	2499	2042	1708	1070	515	85	0	0	474	1143	1714	2336
$Q_{ht}$	6516	5324	4453	2789	1343	222	0	0	1236	2980	4468	6091
$Q_{int,m}$	1551	1401	1551	1501	1551	1501	1551	1551	1501	1551	1501	1551
$Q_{sol,m}$	544	832	1305	1425	1698	1727	1660	1460	1338	1222	654	437
$Q_{h,gn}$	2096	2233	2856	2926	3249	3228	3212	3011	2840	2773	2155	1989
$\gamma_H$	0,32	0,42	0,64	1,05	2,42	14,55	0,00	0,00	2,30	0,93	0,48	0,33
$\eta_{H,gn}$	0,99	0,97	0,91	0,76	0,40	0,07	1,00	1,00	0,42	0,81	0,96	0,99
$Q_{H,nd,cont}$	4448	3153	1846	565	36	-1	0	0	37	745	2401	4128
$\alpha_{H,red}$	0,80	0,74	0,59	0,34	-0,53	-8,22	1,00	1,00	-0,45	0,41	0,70	0,79
$Q_{H,nd}$	2860	2069	954	158	-16	10	0	0	-15	247	1449	2750
$\Sigma Q_{H,nd,a} [kWh/a]$	10465											

**Zona 2 (stambeni prostor)**

Koeficijent transmisivskih toplinskih gubitaka:

- $H_{tr} = 635,9 \text{ W/K}$

Koeficijent ventilacijskih toplinskih gubitaka:

- $H_{ve} = 504,4 \text{ W/K}$

Toplinski dobici od sunčeva zračenja:

- $F_c = 0,3$  - žaluzine, rolete, kapci (škure, grilje)
- $g_{\perp} = 0,6$  - dvostruko izolirajuće staklo s jednm staklom niske emisije
- $F_W = 0,9$
- $g_{gl} = 0,54$
- $g_{gl+sh} = 0,162$
- $f_{with}$  - udio vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Zagreb, prikazano u slijedećoj stanici

**Tablica 24. Vrijednosti udjela vremena s uključenom pomičnom zaštitom za grad Zagreb**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	0	0,29	0,75	0,33	0	0	0,67	0,69
Veljača	0	0,38	0,72	0,37	0	0	0,69	0,66
Ožujak	0	0,44	0,66	0,41	0,06	0,06	0,63	0,6
Travanj	0	0,53	0,65	0,51	0,17	0,19	0,65	0,62
Svibanj	0	0,51	0,55	0,51	0,28	0,28	0,6	0,57
Lipanj	0	0,56	0,5	0,51	0,32	0,34	0,55	0,53
Srpanj	0	0,55	0,62	0,57	0,29	0,33	0,62	0,64
Kolovoz	0	0,58	0,72	0,62	0,28	0,25	0,7	0,71
Rujan	0	0,57	0,76	0,54	0,1	0,11	0,72	0,73
Listopad	0	0,48	0,71	0,4	0	0	0,68	0,65
Studen	0	0,2	0,71	0,2	0	0	0,61	0,67
Prosinac	0	0,14	0,62	0,26	0	0	0,49	0,55



- $F_{sh,gl}$  - faktor smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja

**Tablica 25. Vrijednosti faktora smanjenja zbog sjene od pomičnog zasjenjenja**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	1	0,797	0,475	0,769	1	1	0,531	0,517
Veljača	1	0,734	0,496	0,741	1	1	0,517	0,538
Ožujak	1	0,692	0,538	0,713	0,958	0,958	0,559	0,58
Travanj	1	0,629	0,545	0,643	0,881	0,867	0,545	0,566
Svibanj	1	0,643	0,615	0,643	0,804	0,804	0,58	0,601
Lipanj	1	0,608	0,65	0,643	0,776	0,762	0,615	0,629
Srpanj	1	0,615	0,566	0,601	0,797	0,769	0,566	0,552
Kolovoz	1	0,594	0,496	0,566	0,804	0,825	0,51	0,503
Rujan	1	0,601	0,468	0,622	0,93	0,923	0,496	0,489
Listopad	1	0,664	0,503	0,72	1	1	0,524	0,545
Studen	1	0,86	0,503	0,86	1	1	0,573	0,531
Prosinac	1	0,902	0,566	0,818	1	1	0,657	0,615

- $F_F = 0,2$

### Prozori, nezaklonjeni:

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$A_{pr}$	34,9	0	85,68	10,83

- $A_{sol,pr}$  - prikazan u slijedećoj tablici:

**Tablica 26. Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	15,08	0	17,58	3,60	0	0	0	0
Veljača	15,08	0	18,36	3,47	0	0	0	0
Ožujak	15,08	0	19,91	3,34	0	0	0	0
Travanj	15,08	0	20,17	3,01	0	0	0	0
Svibanj	15,08	0	22,76	3,01	0	0	0	0
Lipanj	15,08	0	24,06	3,01	0	0	0	0
Srpanj	15,08	0	20,95	2,81	0	0	0	0
Kolovoz	15,08	0	18,36	2,65	0	0	0	0
Rujan	15,08	0	17,32	2,91	0	0	0	0
Listopad	15,08	0	18,62	3,37	0	0	0	0
Studen	15,08	0	18,62	4,02	0	0	0	0
Prosinac	15,08	0	20,95	3,83	0	0	0	0

- $F_{r,k} = 0,5$  - faktor oblika između otvora k i neba, nezasjenjeni okomiti zid
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K}/\text{W}$
- $U_{c,pr} = 1,2 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- $h_r = 4,5 \text{ W}/\text{m}^2\text{K}$
- $\Delta\vartheta_{er} = 10^\circ\text{C}$

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$\phi_{r,k}$	75,4	0	185,1	23,4

- $Q_{sol,pr} [\text{kWh}]$

**Tablica 27. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz prozore**

Mjesec	Strane svijeta								ukupno
	S	I	J	Z	SI	SZ	JI	JZ	
Siječanj	11,7	0	402,6	140,9	0	0	0	0	555,2
Veljača	17,4	0	594,5	221,7	0	0	0	0	833,6
Ožujak	31,2	0	884,3	381,4	0	0	0	0	1296,9
Travanj	41,6	0	903,5	464,8	0	0	0	0	1409,9
Svibanj	52,9	0	1043,6	580,2	0	0	0	0	1676,7
Lipanj	54,8	0	1048,3	601,7	0	0	0	0	1704,8
Srpanj	54,7	0	985,9	596,1	0	0	0	0	1636,7
Kolovoz	47,6	0	900,9	491,6	0	0	0	0	1440,1
Rujan	33,9	0	875,2	415,7	0	0	0	0	1324,8
Listopad	23,3	0	869,2	324,7	0	0	0	0	1217,2
Studen	13,1	0	469,1	180,0	0	0	0	0	662,2
Prosinac	9,1	0	338,5	104,9	0	0	0	0	452,4

**Prozori, zaklonjeni:**

	Jug	Zapad	Jugoistok	Jugozapad
$A_{pr,z}$	31,23	10,56	5,28	4,16

- $A_{sol,pr,z}$  - prikazan u slijedećoj tablici:

**Tablica 28. Efektivna površina otvora k (prozirnog elementa) na koju upada sunčevo zračenje**

Mjesec	Strane svijeta							
	Sjever	Istok	Jug	Zapad	SI	SZ	Jl	JZ
Siječanj	0	0	6,41	3,51	0	0	1,21	0,93
Veljača	0	0	6,69	3,38	0	0	1,18	0,97
Ožujak	0	0	7,26	3,25	0	0	1,28	1,04
Travanj	0	0	7,35	2,93	0	0	1,24	1,02
Svibanj	0	0	8,30	2,93	0	0	1,32	1,08
Lipanj	0	0	8,77	2,93	0	0	1,40	1,13
Srpanj	0	0	7,64	2,74	0	0	1,29	0,99
Kolovoz	0	0	6,69	2,58	0	0	1,16	0,90
Rujan	0	0	6,31	2,84	0	0	1,13	0,88
Listopad	0	0	6,79	3,28	0	0	1,20	0,98
Studeni	0	0	6,79	3,92	0	0	1,31	0,95
Prosinac	0	0	7,64	3,73	0	0	1,50	1,11

- $F_{r,k} = 0,5$  - nezasjenjeni okomiti zid
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $U_{c,pr} = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $h_r = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\Delta\vartheta_{er} = 10^\circ\text{C}$

	Jug	Zapad	Jugoistok	Jugozapad
$\phi_{r,k}$	67,5	22,8	11,4	8,9

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$F_{hor}$	1	1	1	1
$F_{ov}$	0,8	0,76	0,74	0,76
$F_{fin}$	1	0,92	0,94	0,92
$F_{sh,ob}$	0,8	0,69	0,69	0,69

- $Q_{sol,pr,z}$  [kWh]

**Tablica 29. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz zaklonjene prozore**

Mjesec	Strane svijeta								ukupno
	S	I	J	Z	SI	SZ	JI	JZ	
Siječanj	0	0	180,45	50,79	0	0	27,51	21,02	279,78
Veljača	0	0	270,84	81,63	0	0	40,37	33,22	426,06
Ožujak	0	0	405,47	141,87	0	0	67,57	55,37	670,27
Travanj	0	0	414,72	173,53	0	0	77,02	63,14	728,41
Svibanj	0	0	479,91	217,12	0	0	91,60	74,90	863,54
Lipanj	0	0	482,35	225,37	0	0	95,34	76,90	879,96
Srpanj	0	0	452,96	223,15	0	0	94,80	72,76	843,67
Kolovoz	0	0	413,23	183,59	0	0	82,97	64,43	744,21
Rujan	0	0	401,49	154,92	0	0	72,14	55,99	684,54
Listopad	0	0	398,44	120,38	0	0	60,76	49,92	629,49
Studen	0	0	211,74	65,70	0	0	33,46	24,20	335,10
Prosinac	0	0	150,49	37,18	0	0	23,99	17,48	229,13

### Zidovi:

- $F_{r,k} = 0,5$  - nezasjenjeni okomiti zid
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2\text{K/W}$
- $U_{c,pr} = 0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\alpha_{s,c} = 0,4$

	Sjever	Istok	Jug	Zapad
$A_z$	390,7	117,7	333,62	106,9
$A_{sol,z}$	1,25	0,38	1,07	0,34
$\phi_{r,k}$	140,6	42,4	120,1	38,5

- $Q_{sol,z} [kWh]$

**Tablica 30. Srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz zidove**

Mjesec	S	I	J	Z	ukupno
Siječanj	-34,61	-6,66	4,55	-6,05	-42,77
Veljača	-22,25	-0,01	26,96	-0,01	4,69
Ožujak	-8,91	9,14	46,36	8,30	54,89
Travanj	6,32	18,12	48,40	16,45	89,29
Svibanj	19,56	25,67	48,74	23,31	117,27
Lipanj	23,68	27,64	45,43	25,10	121,85
Srpanj	22,00	29,75	51,40	27,01	130,16
Kolovoz	12,62	24,31	55,85	22,07	114,85
Rujan	-3,75	15,71	60,26	14,27	86,49
Listopad	-19,33	5,37	51,11	4,88	42,03
Studeni	-31,18	-5,11	10,14	-4,64	-30,78
Prosinac	-38,08	-9,17	-9,39	-8,33	-64,97

### Krov:

- $F_{r,k} = 1$  - nezasjenjeni vodoravni krov
- $R_{se} = 0,04 \text{ m}^2 K/W$
- $U_{c,pr} = 0,2 \text{ W/m}^2 K$
- $\alpha_{sc} = 0,6$
- $A_c = 362,4 \text{ m}^2$
- $A_{sol,c} = 1,74 \text{ m}^2$

- $h_r = 4,5 \text{ W/m}^2\text{K}$
- $\Delta\vartheta_{er} = 10^\circ\text{C}$
- $\phi_{r,k} = 130,5 \text{ W}$
- $Q_{sol,z} [\text{kWh}]$  – srednja dozračena energija sunčevog zračenja kroz krov

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
-41,5	-3,11	67,22	128,82	198,65	221,11	229,58	180,29	112,39	32,43	-33,53	-55,03

- $Q_{sol} [\text{kWh}]$  – ukupna srednja dozračena energija sunčevog zračenja

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
1153	1849	3006	3389	4097	4186	4052	3580	3137	2745	1385	893

- $Q_{int} [\text{kWh}]$  - unutarnji dobici

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
4801	4336	4801	4646	4801	4646	4801	4801	4646	4801	4646	4801

- $Q_{gn} [\text{kWh}]$  - ukupni toplinski dobici

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
5954	6185	7807	8035	8898	8832	8853	8381	7783	7546	6031	5694

- $Q_{tr}$  i  $Q_{ve} [\text{kWh}]$  - transmisijski i ventilacijski toplinski gubici

	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
$Q_{tr}$	9415	7692	6434	4029	1940	320	0	0	1786	4305	6456	8800
$Q_{ve}$	7468	6101	5104	3196	1539	254	0	0	1416	3415	5121	6980
$Q_{ht}$	16883	13793	11538	7225	3478	575	0	0	3202	7720	11576	15780

- $\tau = 46,68$
- $a_H = 4,11$
- $\eta_{H,gn} [-]$

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
0,99	0,98	0,93	0,76	0,39	0,07	1,00	1,00	0,41	0,81	0,97	0,99

- $Q_{H,nd,cont} [kWh]$

Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
10982	7738	4317	1118	44	1	0	0	50	1578	5750	10143

Mjesec	Siječanj	Veljača	Ožujak	Travanj	Svibanj	Lipanj	Srpanj	Kolovoz	Rujan	Listopad	Studeni	Prosinac
Br.dana	31	28	31	30	31	30	31	31	30	31	30	31
Br.sati	744	672	744	720	744	720	744	744	720	744	720	744
$\vartheta_{e,m}$	0,1	2	6,4	11,2	15,9	19,3	21	20,3	16,1	10,9	5,9	1,4
$Q_{tr,m}$	9415	7692	6434	4029	1940	320	0	0	1786	4305	6456	8800
$Q_{ve,m}$	7468	6101	5104	3196	1539	254	0	0	1416	3415	5121	6980
$Q_{ht}$	16883	13793	11538	7225	3478	575	0	0	3202	7720	11576	15780
$Q_{int,m}$	4801	4336	4801	4646	4801	4646	4801	4801	4646	4801	4646	4801
$Q_{sol,m}$	1098	1761	2888	3270	3978	4075	3941	3466	3020	2617	1319	851
$Q_{h,gn}$	5899	6097	7689	7916	8779	8721	8742	8267	7666	7418	5965	5651
$\gamma_H$	0,35	0,44	0,67	1,10	2,52	15,17	0,00	0,00	2,39	0,96	0,52	0,36
$\eta_{H,gn}$	0,99	0,98	0,93	0,77	0,39	0,07	1,00	1,00	0,41	0,82	0,97	0,99
$Q_{H,nd,cont}$	11037	7818	4403	1161	46	-1	0	0	51	1637	5809	10179
$\alpha_{H,red}$	0,82	0,77	0,65	0,43	-0,31	-6,85	1,00	1,00	-0,24	0,50	0,73	0,82
$Q_{H,nd}$	7263	5327	2459	403	-11	-4	0	0	-10	638	3658	6942
$\Sigma Q_{H,nd,a} [kWh/a]$	26662											

### **Prilog 3 - Popis odabranih ogrjevnih tijela po prostori**



**Tablica 31. Odabrana ogrjevna tijela za pojedinu prostoriju**

Oznaka	Prostorija	Ogrjevno tijelo	Učin W
-	-	-	
0.1.1.	Poslovni prostor	21 VM-S/600/1400 21 VM-S/600/1400 21 VM-S/600/1400 21 VM-S/600/1400 21 VM-S/600/1400 21 VM-S/600/1600 21 VM-S/600/1600 21 VM-S/600/1600 21 VM-S/600/1600	1776 1776 1776 1776 1776 2029 2029 2029 2029
0.1.3.	Kuhinja	21 VM-S/600/800	1015
0.1.4.	Muški WC	11 VM/600/800	701
0.1.5.	Ženski WC	11 VM/600/520	304
1.1.2.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/920 11 VM/600/400	807 351
1.1.3.	Spavaća soba	11 VM/600/720	628
1.1.4.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
1.2.1.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/800 11 VM/600/400	701 351
1.2.2.	Spavaća soba	11 VM/600/800	701
1.2.3.	Hodnik	10VM/400/400	189
1.2.4.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
1.3.1.	Dnevni boravak i kuhinja	21 VM-S/600/1000 11 VM/600/400	1268 351
1.3.2.	Hodnik	10VM/400/400	189
1.3.4.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
1.3.5.	Spavaća soba 1	11 VM/600/600	526
1.3.6.	Spavaća soba 2	11 VM/600/600	526
1.3.7.	Spavaća soba 3	11 VM/600/1000	877
1.4.1.	Dnevni boravak i kuhinja	21 VM-S/600/1000 11 VM/600/400	1268 351
1.4.2.	Hodnik	10VM/400/400	189
1.4.4.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
1.4.5.	Spavaća soba 1	11 VM/600/600	526
1.4.6.	Spavaća soba 2	11 VM/600/520	456
1.4.7.	Spavaća soba 3	11 VM/600/520	456
1.5.1.	Dnevni boravak i kuhinja	21 VM-S/600/1000 11 VM/600/520	1268 456
1.5.2.	Hodnik	10VM/400/400	189
1.5.4.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510

1.5.5.	Spavaća soba 1	11 VM/600/800	701
1.5.6.	Spavaća soba 2	11 VM/600/520	456
1.5.7.	Spavaća soba 3	11 VM/600/520	456
2.1.1.	Hodnik	10VM/500/400	227
2.1.2.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1320	1053
2.1.3.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
2.1.4.	Spavaća soba 1	11 VM/600/600	526
2.1.5.	Spavaća soba 2	11 VM/600/720	631
2.2.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
2.2.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
2.2.3.	Dnevni boravak i kuhinja	21 VM-S/600/920	1166
2.2.4.	Spavaća soba	11 VM/600/600	526
2.3.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
2.3.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
2.3.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1200	1053
2.3.4.	Spavaća soba	11 VM/600/600	526
2.4.1.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/600 21 VM-S/600/1120	526 1421
2.4.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/596/127	510
2.4.3.	Spavaća soba 1	11 VM/600/800	701
2.4.4.	Spavaća soba 2	11 VM/600/800	701
3.1.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
3.1.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
3.1.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1120	983
3.1.4.	Spavaća soba 1	11 VM/600/520	456
3.1.5.	Spavaća soba 2	11 VM/600/720	631
3.2.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
3.2.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
3.2.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1120	983
3.2.4.	Spavaća soba	11 VM/600/600	526
3.3.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
3.3.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
3.3.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1120	983
3.3.4.	Spavaća soba	11 VM/600/720	631
3.4.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189

3.4.3.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
3.4.4.	Dnevni boravak i kuhinja	21 VM-S/600/1120	1421
3.4.5.	Spavaća soba 1	11 VM/600/800	701
3.4.6.	Spavaća soba 2	11 VM/600/800	701
4.1.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
4.1.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
4.1.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1200	1053
4.1.4.	Spavaća soba 1	11 VM/600/600	526
4.1.5.	Spavaća soba 2	11 VM/600/920	807
4.2.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
4.2.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
4.2.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1320	1157
4.2.4.	Spavaća soba	11 VM/600/720	631
4.3.1.	Ulazni prostor	10VM/400/400	189
4.3.2.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
4.3.3.	Dnevni boravak i kuhinja	11 VM/600/1400	1228
4.3.4.	Spavaća soba	11 VM/600/720	631
4.4.1.	Ulazni prostor	11 VM/600/520	520
4.4.3.	Kupaonica	DELLA WAVE 1134/742/143	625
4.4.4.	Dnevni boravak i kuhinja	21 VM-S/600/1400	1776
4.4.5.	Spavaća soba 1	11 VM/600/1000	877
4.4.6.	Spavaća soba 2	11 VM/600/1000	877

## **Prilog 4 - Proračun dimnjaka prema HRN EN 13384-1**

Ulazni podaci potrebni za provedbu proračuna

- Promjer svijetlog otvora dimnjaka:  $D_h = 0,2 \text{ m}$
- Efektivna visina dimnjaka:  $H = 17 \text{ m}$
- Promjer svijetlog otvora vezne dimovodne cijevi:  $D_{hV} = 0,18 \text{ m}$
- Duljina vezne dimovodne cijevi:  $L_V = 1 \text{ m}$
- Debljina stijenke limova (nehrđajući čelik):  $\delta_1 = \delta_3 = 0,0006 \text{ m}$
- Toplinska provodnost (nehrđajući čelik):  $\lambda_1 = \lambda_3 = 25 \text{ W/mK}$
- Debljina izolacije (mineralna vuna):  $\delta_2 = 0,05 \text{ m}$
- Toplinska provodnost izolacije:  $\lambda_2 = 0,035 \text{ W/mK}$
- Debljina stijenke vezne dimovodne cijevi (nehrđajući čelik):  $\delta_V = 0,001 \text{ m}$
- Toplinska provodnost vezne dimovodne cijevi:  $\lambda_V = 25 \text{ W/mK}$
- Nazivna snaga kotla:  $Q_N = 80 \text{ kW}$
- Maseni protok dimnih plinova pri nazivnom učinku:  $\dot{m} = 0,045 \text{ kg/s}$
- Temperatura dimnih plinova:  $T_W = 383,15 \text{ K}$

Da bi se odredili još neki podaci potreban je podatak srednje temperature dimnih plinova u dimnjaku ( $T_m$ ) kao i temperatura dimnih plinova pri izlazu iz dimnjaka ( $T_o$ ). Do tih podataka dolazi se pomoću slijedećih formula:

$$T_{mV} = T_u + \frac{T_W - T_u}{K_V} \cdot (1 - e^{-K_V})$$

$$T_e = T_u + (T_W - T_u) \cdot e^{-K_V}$$

$$T_m = T_u + \frac{T_e - T_u}{K} \cdot (1 - e^{-K})$$

$$T_o = T_u + (T_e - T_u) \cdot e^{-K}$$

Vrijednosti koeficijenta hlađenja se dobiju tek kasnije u proračunu i ovise o parametrima koje dobimo iz tih temperatura, zbog ovoga je ovaj proračun iterativno izračunan pomoću programa Microsoft Office Excel.

## 1. Toplinska otpornost dimnjaka

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = y \cdot \sum_n \left[ \frac{D_h}{2 \cdot \lambda_n} \cdot \ln \left( \frac{D_{h,n+1}}{D_{h,n}} \right) \right]$$

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = 1 \cdot \left[ \frac{0,2}{2 \cdot 25} \cdot \ln \left( \frac{0,2012}{0,2} \right) + \frac{0,2012}{2 \cdot 0,035} \cdot \ln \left( \frac{0,3012}{0,2012} \right) + \frac{0,3012}{2 \cdot 25} \cdot \ln \left( \frac{0,3024}{0,3012} \right) \right]$$

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right) = 1,1597 \text{ m}^2\text{K/W}$$

Koeficijent oblika (za kružne poprečne presjeke  $y = 1$ )

## 2. Toplinska otpornost vezne dimovodne cijevi

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_v = y \cdot \sum_n \left[ \frac{D_{hV}}{2 \cdot \lambda_{nV}} \cdot \ln \left( \frac{D_{hV,n+1}}{D_{hV,n}} \right) \right]$$

$$\left(\frac{1}{\Lambda}\right)_v = 1 \cdot \frac{0,18}{2 \cdot 25} \cdot \ln \left( \frac{0,182}{0,2} \right) = 3,97 \cdot 10^{-5} \text{ m}^2\text{K/W}$$

3. Vanjska temperatura zraka ( $T_L$ ) uzima se kao maksimalna temperatura vanjskog zraka kod koje se dimnjak namjerava koristiti. U normi je navedeno da se za proračun uobičajeno uzima vrijednost  $288,15 \text{ K}$  ( $t_L = 15^\circ\text{C}$ ).

4. Okolišna temperatura zraka ( $T_u$ ) se izjednačava s temperaturom vanjskog zraka zbog pojednostavljenja proračuna.  $T_u = T_L = 288,15 \text{ K}$ .

5. Tlak vanjskog zraka ( $p_L$ ) se izračuna iz slijedećeg izraza.

$$p_L = 97000 \cdot e^{(-g \cdot z)/(R_L \cdot T_L)}$$

Nadmorska visina za Grad Zagreb iznosi  $z = 158 \text{ m}$ , a plinska konstanta zraka iznosi  $R_L = 288 \text{ J/(kgK)}$  (kod koncentracije vlage  $\sigma(\text{H}_2\text{O})$  u iznosu od 1.1%).

$$p_L = 97000 \cdot e^{(-9,81 \cdot 158)/(288 \cdot 288,15)} = 95206 \text{ Pa}$$

6. Plinska konstanta dimnih plinova ( $R$ ) izračunata je prema formulama iz tablice B.1 norme HRN EN 13384-1.

$$R = R_L \cdot [1 + f_R \cdot \sigma(CO_2)]$$

Gdje su vrijednosti  $f_R = -01 \frac{1}{\%}$  i  $\sigma(CO_2) = 20,31 \%$  uzete iz tablice B.1 norme HRN EN 13384-1.

$$R = 288 \cdot [1 + (-01) \cdot 20,31] = 282,15 \text{ J/kgK}$$

7. Gustoća vanjskog zraka ( $\rho_L$ ) izračunava se prema slijedećoj jednadžbi.

$$\rho_L = \frac{p_L}{R_L \cdot T_L} = \frac{95206}{288 \cdot 288,15} = 1,147 \text{ kg/m}^3$$

8. Specifični toplinski kapacitet dimnih plinova ( $c_p$ ) dobije se prema formulama iz tablice B.1 i tablice B.4 norme HRN EN 13384-1.

$$(c_p) = \frac{1011 + 0,05 \cdot t_m + 003 \cdot t_m^2 + (f_{c0} + f_{c1} \cdot t_m + f_{c2} \cdot t_m^2) \cdot \sigma(CO_2)}{1 + f_{c3} \cdot \sigma(CO_2)}$$

Gdje je  $t_m$  srednja temperatura dimnih plinova u dimnjaku izražena u  $^{\circ}\text{C}$ . Ta vrijednost se pretpostavlja i kasnije u proračunu se provjerava ako je pretpostavka bila dobra. Ovdje se javlja iterativnost proračuna. Također moramo pretpostaviti i srednju temperaturu dimnih plinova u veznoj cijevi

Pretpostavljena srednja temperatura dimnih plinova u dimnjaku jest  $T_m = 371,4 \text{ K}$ , tj.  $t_m = 98,25 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Pretpostavljena srednja temperatura dimnih plinova u veznoj cijevi jest  $T_{mV} = 380,65 \text{ K}$ , tj.  $t_{mV} = 107,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Ovisno o vrsti goriva, potrebni koeficijenti mogu se naći u Tablici B.1, kako se radi o kotlu na pelete, uzimaju se vrijednosti za drvene pelete.

- $f_{c0} = 11,6 \text{ J/(kgK}\%)$
- $f_{c1} = 0,015 \text{ J/(kgK}^2\%)$
- $f_{c2} = -0,000012 \text{ J/(kgK}^2\%)$
- $f_{c3} = 0,0091 \text{ J/(kgK}^3\%)$

Uvrštavanjem ovih vrijednosti dobivamo specifični toplinski kapacitet dimnih plinova u dimnjaku.

$$(c_p) = \frac{1011 + 0,05 \cdot 98,25 + 003 \cdot 98,25^2 + (11,6 + 0,015 \cdot 98,25 - 0,000012 \cdot 98,25^2) \cdot 20,31}{1 + 0,0091 \cdot 20,31}$$

$$(c_p) = 1082 \text{ J/kgK}$$

Uvrštavanjem istih vrijednosti, ali za srednju temperaturu dimnih plinova u veznoj cijevi dobiva se specifični toplinski kapacitet dimnih plinova u veznoj cijevi.

$$(c_{pV}) = 1084,86 \text{ J/kgK}$$

### 9. Temperatura kondenzacije dimnih plinova ( $T_{sp}$ )

Za ugljen, ostalo loživo ulje i drvo, temperatura kondenzacije dimnih plinova definira se pomoću temperature rošenja kiseline pomoću formule  $T_{sp} = T_p + \Delta T_{sp}$ . Temperaturo rosišta dobiva se preko formula iz Tablice B.1 norme EN 13384-1.

$$T_p = \frac{4077,9}{23,6448 - \ln(p_D)} - 236,67$$

Parcijalni tlak vodene pare  $p_D$  dobivamo formulom:

$$p_D = \frac{\sigma(H_2O)}{100} \cdot p_L$$

U kojoj  $\sigma(H_2O)$  predstavlja volumensku koncentraciju  $H_2O$  u dimnim plinovima, koja se dobiva pomoću  $\sigma(CO_2)$  i koeficijenta  $f_w$  za drvene pelete koji iznosi  $f_w = 127 \%$ .

$$\sigma(H_2O) = \frac{100}{1 + \frac{f_w}{\sigma(CO_2)}} + 1,1 = \frac{100}{1 + \frac{127}{20,31}} + 1,1 = 14,89 \%$$

Znajući volumensku koncentraciju vode, možemo dobiti parcijalni tlak vodene pare  $p_D$ .

$$p_D = \frac{14,89}{100} \cdot 95206 = 14173,5 \text{ Pa}$$

Na kraju dobijemo iznos temperature rošenja.



$$T_p = \frac{4077,9}{23,6448 - \ln(14173,5)} - 236,67 = 52,84 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Porast u temperaturi kondenzacije u dimnim plinovima može se izračunati prema formuli u Tablici B.1 norme EN 13384-1. Za drva i drvene pelete, porast u temperaturi kondenzacije ( $\Delta T_{sp}$ ), koji uzima u obzir kondenzaciju kiseline, trebao bi biti 15 K.

Znajući sve potrebne vrijednosti, može se izračunati temperatura kondenzacije dimnih plinova.

$$T_{sp} = 326 + 15 = 341 \text{ K}$$

10. Srednja gustoća dimnih plinova u dimnjaku ( $\rho_m$ )

$$\rho_m = \frac{p_L}{R \cdot T_m}$$

$$\rho_m = \frac{95206}{282,15 \cdot 367,9} = 0,9085 \text{ kg/m}^3$$

11. Srednja brzina dimnih plinova u dimnjaku ( $w_m$ )

$$w_m = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D_h^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot \rho_m}$$

$$w_m = \frac{0,045}{\left(\frac{0,2^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot 0,90852} = 1,58 \text{ m/s}$$

12. Srednja gustoća dimnih plinova u veznoj cijevi ( $\rho_{mV}$ )

$$\rho_{mV} = \frac{p_L}{R \cdot T_{mV}}$$

$$\rho_{mV} = \frac{95206}{282,15 \cdot 380,65} = 0,8864 \text{ kg/m}^3$$

13. Srednja brzina dimnih plinova u veznoj cijevi ( $w_{mV}$ )

$$w_{mV} = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D_{hV}^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot \rho_{mV}}$$

$$w_{mV} = \frac{0,045}{\left(\frac{0,18^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot 0,8864} = 1,99 \text{ m/s}$$

14. Koeficijent prolaza topline iz dimnjaka prema okolišu pri temperaturnoj ravnoteži ( $k_b$ ) izračunava se preko slijedeće formule:

$$k_b = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{ha} \cdot \alpha_a}}$$

U formuli se javlja koeficijent prijelaza topline s dimnih plinova na dimnjak  $\alpha_i$ , čija vrijednost nije poznata. Taj koeficijent prijelaza topline dobije se preko Nusseltovog broja. Za izračun Nusseltovog broja potrebno je znati i neke druga parametre.

### 13.1. Reynoldsov broj

$$Re = \frac{w_m \cdot D_h \cdot \rho_m}{\eta_A}$$

Gdje je  $\eta_A$  dinamička viskoznost dimnih plinova koja se dobije preko formule iz Tablice B.1 norme EN 13384-1.

$$\eta_A = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9} \cdot t_m - 20 \cdot 10^{-12} \cdot t_m^2$$

$$\eta_A = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9} \cdot 98,25 - 20 \cdot 10^{-12} \cdot 98,25^2 = 1,942 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

Konačno se dobije Reynoldsov broj.

$$Re = \frac{1,58 \cdot 0,2 \cdot 0,9085}{1,942 \cdot 10^{-5}} = 14748$$

Kako je Reynoldsov broj veći od 3000, strujanje se može smatrati turbulentnim.

### 13.2. Prandtlov broj

$$Pr = \frac{\eta_A \cdot c_p}{\lambda_A}$$

Koeficijent toplinske vodljivosti dimnih plinova ( $\lambda_A$ ) dobije se preko formule iz Tablice B.1 norme EN 13384-1.

$$\lambda_A = 0,0223 + 00065 \cdot t_m$$

$$\lambda_A = 0,0223 + 00065 \cdot 98,25 = 0,029 \text{ W/mK}$$

Konačno se dobije Prandtlov broj.

$$Pr = \frac{1,942 \cdot 10^{-5} \cdot 1080,9}{0,029} = 0,732$$

### 13.3. Koeficijent otpora strujanja zbog trenja kod strujanja dimnih plinova

Korištena je Colebrookova implicitna jednačba te zbog same naravi formule rađena je iteracijski. Visina neravnina ( $r$ ) je uzeta iz Tablice B.4 norme EN 13384-1 i za čelik iznosi  $0,001 \text{ m}$ .

Pretpostavljeni koeficijent otpora kod hidraulički hrapavog strujanja iznosi  $\Psi = 0,0356$ .

$$\frac{1}{\sqrt{\Psi}} = -2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\Psi}} + \frac{r}{3,71 \cdot D_h} \right)$$

$$\Psi = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\Psi}} + \frac{r}{3,71 \cdot D_h} \right)} \right)^2$$

$$\Psi = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{14748 \cdot \sqrt{0,0356}} + \frac{0,001}{3,71 \cdot 0,2} \right)} \right)^2 = 0,0356$$

Iz rezultata se može zaključiti da je pretpostavljeni koeficijent točan.

Potreban je i koeficijent otpora strujanja kod hidraulički glatke cijevi, što znači da se uzima kao da nema visine neravnine, tj.  $r = 0$ . Također se mora pretpostaviti neki iznos koeficijenta da se može iterativno doći do stvarne vrijednosti.

Pretpostavljeni koeficijent otpora kod hidraulički glatkog strujanja iznosi  $\Psi_{\text{smooth}} = 0,0279$ .

$$\Psi_{\text{smooth}} = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re \cdot \sqrt{\Psi}} \right)} \right)^2$$

$$\Psi_{\text{smooth}} = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{14748 \cdot \sqrt{0,0279}} \right)} \right)^2 = 0,0279$$

Iz rezultata se može zaključiti da je i ovaj pretpostavljeni koeficijent točan.

#### 13.4. Nusseltov broj

Znajući sve vrijednosti, konačno se može dobiti vrijednost Nusseltovog broja. Izračunava se prema formuli (24) iz norme EN 13384-1. U formuli se javlja parametar ukupne udaljenosti koju dimni plinovi prođu od ulaza u dimnjak do izlaza iz dimnjaka, vrijednost se uzima da iznosi isto kao i efektivna visina dimnjaka  $L_{\text{tot}} = 17 \text{ m}$ .

$$Nu = \left( \frac{\Psi}{\Psi_{\text{smooth}}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re^{0,8} - 100) \cdot Pr^{0,4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{D_h}{L_{\text{tot}}} \right)^{0,67} \right]$$

$$Nu = \left( \frac{0,0356}{0,02794} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (14748^{0,8} - 100) \cdot 0,732^{0,4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,2}{17} \right)^{0,67} \right] = 48,25$$

#### 13.5. Unutarnji koeficijent prijelaza topline

$$\alpha_i = \frac{\lambda_A \cdot Nu}{D_h}$$

$$\alpha_i = \frac{0,029 \cdot 48,25}{0,2} = 6,92 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vanjski koeficijent prijelaza topline se uzima da iznosi  $\alpha_a = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  prema točki 5.8.3.3 norme EN 13384-1.

Konačno se dobije koeficijent prolaza topline iz dimnjaka prema okolišu pri temperaturnoj ravnoteži.

$$k_b = \frac{1}{\frac{1}{6,92} + 1,1597 + \frac{0,2}{0,3024 \cdot 8}} = 1,134 \text{ W/m}^2\text{K}$$

### 15. Koeficijent hlađenja dimnjaka ( $K$ )

Koeficijent hlađenja potreban je za izračun temperatura dimnih plinova. Parametar  $U$  predstavlja unutarnji opseg dimnjaka.

$$K = \frac{U \cdot k_b \cdot H}{\dot{m} \cdot c_p}$$

$$K = \frac{2\pi \cdot 0,2 \cdot 1,134 \cdot 17}{0,045 \cdot 1082} = 0,158$$

Koeficijenti prolaza topline iz vezne dimovodne cijevi pri temperaturnoj ravnoteži ( $k_{bV}$ ) izračunava se preko slijedeće formule:

$$k_{bV} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_{iV}} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_V + \frac{D_{hV}}{D_{haV} \cdot \alpha_a}}$$

Isti postupak kao i prije. Potrebno je dobiti unutarnji koeficijent prijelaza topline u veznoj cijevi, a to se dobije iz Nusseltovog broja.

#### 15.1. Reynoldsov broj

$$Re_V = \frac{w_{mV} \cdot D_{hV} \cdot \rho_{mV}}{\eta_{AV}}$$

Gdje je  $\eta_A$  dinamička viskoznost dimnih plinovu koju dobivamo preko formule iz Tablice B.1

$$\eta_{AV} = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9} \cdot t_{mV} - 20 \cdot 10^{-12} \cdot t_{mV}^2$$

$$\eta_{AV} = 15 \cdot 10^{-6} + 47 \cdot 10^{-9} \cdot 107,5 - 20 \cdot 10^{-12} \cdot 107,5^2 = 1,9821 \cdot 10^{-5} \text{ Ns/m}^2$$

Konačno dobivamo

$$Re_V = \frac{1,995 \cdot 0,18 \cdot 0,8864}{1,9821 \cdot 10^{-5}} = 16459$$

Kako je Reynoldsov broj veći od 3000, strujanje možemo smatrati turbulentnim.

## 15.2. Prandtlov broj

$$Pr_V = \frac{\eta_{AV} \cdot c_{pV}}{\lambda_{AV}}$$

Koeficijent toplinske vodljivosti dimnih plinova ( $\lambda_A$ ) dobivamo preko formule iz Tablice B.1

$$\lambda_{AV} = 0,0223 + 00065 \cdot t_{mV}$$

$$\lambda_{AV} = 0,0223 + 00065 \cdot 107,5 = 0,029 \text{ W/mK}$$

Konačno dobivamo

$$Pr_V = \frac{1,9821 \cdot 10^{-5} \cdot 1084,86}{0,029} = 0,7195$$

## 15.3. Koeficijent otpora strujanja zbog trenja u veznoj cijevi

Isto kao i prije, koristimo Colebrookovu implicitnu jednadžbu. Pretpostavljeni koeficijent otpora kod hidraulički hrapavog strujanja iznosi  $\Psi_V = 0,0359$ . Visina neravnina ( $r$ ) je uzeta iz Tablice B.4 i za čelik iznosi  $0,001 \text{ m}$ .

$$\frac{1}{\sqrt{\Psi_V}} = -2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re_V \cdot \sqrt{\Psi_V}} + \frac{r}{3,71 \cdot D_h} \right)$$

$$\Psi_V = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re_V \cdot \sqrt{\Psi_V}} + \frac{r}{3,71 \cdot D_h} \right)} \right)^2$$

$$\Psi_V = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{16459 \cdot \sqrt{0,0359}} + \frac{0,001}{3,71 \cdot 0,18} \right)} \right)^2 = 0,0359$$

Iz rezultata se može zaključiti da je pretpostavljeni koeficijent točan.

Potreban je i koeficijent otpora strujanja kod hidraulički glatke cijevi. Pretpostavljeni koeficijent otpora kod hidraulički glatkog strujanja iznosi  $\Psi_{\text{smoothV}} = 0,0271$ .

$$\Psi_{\text{smoothV}} = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{Re_V \cdot \sqrt{\Psi}} \right)} \right)^2$$

$$\Psi_{\text{smoothV}} = \left( \frac{1}{-2 \cdot \log \left( \frac{2,51}{16459 \cdot \sqrt{0,0271}} \right)} \right)^2 = 0,0271$$

Iz rezultata se može zaključiti da je i ovaj pretpostavljeni koeficijent točan.

#### 15.4. Nusseltov broj

U formuli se javlja parametar ukupne udaljenosti koju dimni plinovi prođu od kotla pa do ulaza u dimnjak,  $L_{\text{totV}} = 1 \text{ m}$ .

$$Nu_V = \left( \frac{\Psi_V}{\Psi_{\text{smoothV}}} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (Re_V^{0,8} - 100) \cdot Pr_V^{0,4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{D_{hV}}{L_{\text{totV}}} \right)^{0,67} \right]$$

$$Nu_V = \left( \frac{0,0359}{0,0271} \right)^{0,67} \cdot 0,0214 \cdot (16459^{0,8} - 100) \cdot 0,7195^{0,4} \cdot \left[ 1 + \left( \frac{0,18}{1} \right)^{0,67} \right] = 67,37$$

#### 15.5. Unutarnji koeficijent prijelaza

$$\alpha_{iV} = \frac{\lambda_{AV} \cdot Nu_V}{D_{hV}}$$

$$\alpha_{iV} = \frac{0,029 \cdot 67,37}{0,18} = 10,96 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Vanjski koeficijent prijelaza topline se uzima da iznosi  $\alpha_a = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$  prema točki 5.8.3.3 norme EN 13384-1.

Konačno na kraju možemo izračunati koeficijent prolaza topline iz dimnjaka pri temperaturnoj ravnoteži.

$$k_{bV} = \frac{1}{\frac{1}{10,96} + 3,98 \cdot 10^{-5} + \frac{0,18}{0,182 \cdot 8}} = 4,653 \text{ W/m}^2\text{K}$$

#### 16. Koeficijent hlađenja vezne dimovodne cijevi ( $K_V$ )

Koeficijent hlađenja je potreban za izračun temperatura. Parametar  $U$  predstavlja unutarnji opseg dimnjaka.

$$K_V = \frac{U \cdot k_{bV} \cdot L_V}{\dot{m} \cdot c_{pV}}$$

$$K_V = \frac{2\pi \cdot 0,18 \cdot 4,653 \cdot 1}{0,045 \cdot 1084,8} = 0,054$$

#### 17. Određivanje temperatura

##### 17.1. Srednja temperatura dimnih plinova u veznoj dimovodnoj cijevi ( $T_{mV}$ )

$$T_{mV} = T_u + \frac{T_W - T_u}{K_V} \cdot (1 - e^{-K_V})$$

$$T_{mV} = 288,15 + \frac{383,15 - 288,15}{0,054} \cdot (1 - e^{0,054}) = 380,63 \text{ K}$$

Stvarna srednja temperatura dimnih plinova u veznoj cijevi od pretpostavljene se razlikuje za samo  $0,02 \text{ K}$ , tako da se može sa sigurnošću reći da je pretpostavka točna.

##### 17.2. Temperatura dimnih plinova na ulazu u dimnjak ( $T_e$ )

$$T_e = T_u + (T_W - T_u) \cdot e^{-K_V}$$

$$T_e = 288,15 + (383,15 - 288,15) \cdot e^{-0,054} = 378,16 \text{ K}$$

##### 17.3. Srednja temperatura dimnih plinova u dimnjaku ( $T_m$ )

$$T_m = T_u + \frac{T_e - T_u}{K} \cdot (1 - e^{-K})$$



$$T_m = 288,15 + \frac{378,16 - 288,15}{0,158} \cdot (1 - e^{-0,158}) = 371,41 \text{ K}$$

Stvarna srednja temperatura dimnih plinova u dimnjaku od pretpostavljene se razlikuje za samo 0,01 K, tako da se može sa sigurnošću reći da je pretpostavka točna.

#### 17.4. Temperatura dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka ( $T_o$ )

$$T_o = T_u + (T_e - T_u) \cdot e^{-K}$$

$$T_o = 288,15 + (378,16 - 288,15) \cdot e^{-0,158} = 364,99 \text{ K}$$

### 18. Određivanje tlakova

#### 18.1. Teoretski podtlak raspoloživ zbog efekta dimnjaka ( $P_H$ )

Teoretski podtlak je zapravo razlika tlaka koja postoji zbog razlike u gustoćama okolnog zraka i dimnih plinova.

$$P_H = H \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_m)$$

$$P_H = 17 \cdot 9,81 \cdot (1,1472 - 0,9085) = 39,79 \text{ Pa}$$

#### 18.2. Razlika tlaka urokovana promjenom brzine dimnih plinova u dimnjaku ( $P_G$ )

$$P_G = \frac{\rho_2}{2} \cdot w_2^2 - \frac{\rho_1}{2} \cdot w_1^2$$

Ako pretpostavimo da se dimni plinovi ponašaju kao idealni plinovi, može se koristiti jednadžba stanja za idealne plinove za izračunavanje gustoće, te kasnije i brzine.

Gustoća dimnih plinova na ulazu u dimnjak

$$\rho_1 = \frac{p_L}{R \cdot T_e} = \frac{95206}{282,15 \cdot 378,16} = 0,8923 \text{ kg/m}^3$$

Gustoća dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka

$$\rho_2 = \frac{p_L}{R \cdot T_o} = \frac{95206}{282,15 \cdot 364,99} = 0,9245 \text{ kg/m}^3$$

Brzina dimnih plinova na ulazu u dimnjak

$$w_1 = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D_h^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot \rho_1} = \frac{0,045}{\left(\frac{0,2^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot 0,8923} = 1,605 \text{ m/s}$$

Brzina dimnih plinova na izlazu iz dimnjaka

$$w_2 = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D_h^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot \rho_2} = \frac{0,045}{\left(\frac{0,2^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot 0,9245} = 1,549 \text{ m/s}$$

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti možemo dobiti traženu razliku tlaka

$$P_G = \frac{0,9245}{2} \cdot 1,549^2 - \frac{0,8923}{2} \cdot 1,605^2 = -0,04 \text{ Pa}$$

### 18.3. Pad tlaka u dimnjaku

Dobiva se iz izraza koji uključuje i tlak otpora strujanja zbog trenja i oblika dimnjaka te rezlika tlakova zbog promjene brzine dimnih plinova.

$$P_R = S_E \cdot P_E + S_{EG} \cdot P_G$$

$$P_R = S_E \cdot \left( \Psi \cdot \frac{H}{D_h} + \sum_n \zeta_n \right) \cdot \frac{\rho_m \cdot w_m^2}{2} + S_{EG} \cdot P_G$$

Koeficijent sigurnosti ( $S_E$ ) uzima se da iznosi 1,5 jer se radi o dimnjaku s podtlakom, iznos uzet iz poglavlja 5.7.8. norme EN 13384-1. Koeficijent sigurnosti strujanja za razliku tlaka uzrokovanu promjenom brzine ( $S_{EG}$ ) iznosi 1, što se dobilo iz odnosa danog u normi za  $P_G < 0$ . Kako je dimnjak istog promjera i bez skretanja, uzimamo da suma koeficijenta lokalnih padova tlaka ( $\sum \zeta_n$ ) iznosi 0. Uz ove vrijednosti može se dobiti iznos pada tlaka u dimnjaku.

$$P_R = 1,5 \cdot \left( 0,0356 \cdot \frac{17}{0,2} \right) \cdot \frac{0,90852 \cdot 1,58^2}{2} + 1 \cdot (-0,04) = 5,09 \text{ Pa}$$

### 18.4. Tlak brzine vjetra ( $P_L$ )

Kako se dimnjak ne nalazi u zoni štetnog djelovanja tlaka vjetra, uzima se da tlak brzine iznosi 0. U svojoj je okolini zgrada najviša i nema nikakvih okolnih zgrada ili drveća koje bi

mogle prouzročiti turbulencije vjetra koje bi djelovale na dimnjak i izlazak tlaka iz njega. Također je krov zgrade ravan i dimnjak se izdiže iznad krova još dodatnih 1,5 metara.

#### 18.5. Podtlak potreban za uvođenje dimnih plinova u dimnjak ( $P_{Ze}$ )

$$P_{Ze} = P_W + P_{FV} + P_B$$

Kotao „Firematic TC 80“ opremljen je s ventilatorom koji stvara podtlak u ložištu što uzrokuje da zrak za izgaranje struji iz kotlovnice u ložište. Znajući to pretpostavlja se da taj ventilator pokriva sve gubitke tlaka vezane uz zrak za izgaranje, dakle vrijednosti najmanjeg potrebnog podtlaka izvora topline ( $P_W$ ) i efektivnog pada tlaka u dovodu zraka za izgaranje ( $P_B$ ) mogu se zanemariti za ovaj proračun.

#### 18.6. Efektivni pad tlaka u veznoj dimovodnoj cijevi ( $P_{FV}$ )

$$P_{FV} = P_{RV} - P_{HV}$$

18.6.1 Teoretski podtlak zbog efekta dimnjaka u veznoj dimovodnoj cijevi ( $P_{HV}$ ) dobije se pomoću izraza:

$$P_{HV} = H_V \cdot g \cdot (\rho_L - \rho_{mV})$$

Gdje efektivna visina vezne cijevi ( $H_V$ ) iznosi 0,75 m.

$$P_{HV} = 0,75 \cdot 9,81 \cdot (1,147 - 0,8864) = 1,76 \text{ Pa}$$

18.6.2. Razlika tlaka uzrokovana promjenom brzine dimnih plinova u veznoj dimovodnoj cijevi ( $P_{GV}$ )

$$P_{GV} = \frac{\rho_e}{2} \cdot w_e^2 - \frac{\rho_W}{2} \cdot w_W^2$$

Gustoća dimnih plinova pri izlazu iz kotla

$$\rho_W = \frac{p_L}{R \cdot T_W} = \frac{95206}{282,15 \cdot 383,15} = 0,881 \text{ kg/m}^3$$

Gustoća dimnih plinova na ulazu u dimnjak

$$\rho_e = \frac{p_L}{R \cdot T_e} = \frac{95206}{282,15 \cdot 378,16} = 0,892 \text{ kg/m}^3$$

Brzina dimnih plinova pri izlazu iz kotla

$$w_W = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D_{hV}^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot \rho_W} = \frac{0,045}{\left(\frac{0,18^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot 0,881} = 2,01 \text{ m/s}$$

Brzina dimnih plinova na ulazu u dimnjak

$$w_e = \frac{\dot{m}}{\left(\frac{D_{hV}^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot \rho_e} = \frac{0,045}{\left(\frac{0,18^2 \cdot \pi}{4}\right) \cdot 0,892} = 1,98 \text{ m/s}$$

Uvrštavanjem dobivenih vrijednosti može se dobiti tražena razlika tlaka

$$P_{GV} = \frac{0,892}{2} \cdot 1,98^2 - \frac{0,881}{2} \cdot 2,01^2 = -0,023 \text{ Pa}$$

18.6.3. Pad tlaka u veznoj dimovodnoj cijevi ( $P_{RV}$ )

$$P_{RV} = S_E \cdot \left( \Psi_V \cdot \frac{L_V}{D_{hV}} + \sum_n \zeta_{nV} \right) \cdot \frac{\rho_{mV}}{2} \cdot w_{mV}^2 + S_{EGV} \cdot P_{GV}$$

Kako je  $P_{GV} < 0$ , uzima se da koeficijent sigurnosti za razliku tlaka uzrokovanu promjenom brzine dimnih plinova u veznoj cijevi iznosi 1. Vezna cijev ima luk te se prema Tablici B.8 norme EN 13384-1 uzima da koeficijent lokalnog pada tlaka iznosi 0,3.

$$P_{RV} = 1,5 \cdot \left( 0,0358 \cdot \frac{1}{0,18} + 0,3 \right) \cdot \frac{0,9085}{2} \cdot 1,99^2 + 1 \cdot (-0,023) = 1,34 \text{ Pa}$$

18.6.4. Efektivni pad tlaka u veznoj dimovodnoj cijevi ( $P_{FV}$ )

$$P_{FV} = P_{RV} - P_{HV} = 1,34 - 1,76 = -0,42 \text{ Pa}$$

Iz ovog rezultata može se vidjeti da dimni plinovi u veznoj cijevi imaju dovoljan uzgon da svladaju gubitke nastale trenjem, te se može zaključiti da je protok dimnih plinova kroz veznu cijev osiguran.

18.7. Podtlak na ulazu u dimnjak ( $P_Z$ )

$$P_Z = P_H - P_R - P_L$$

$$P_Z = 39,79 - 5,09 - 0 = 34,7 \text{ Pa}$$

18.8. Podtlak potreban za uvođenje dimnih plinova u dimnjak ( $P_{Ze}$ )

$$P_{Ze} = P_W + P_{FV} + P_B$$

$$P_{Ze} = P_{FV} = -0,42 \text{ Pa}$$

1.8.9. Kontrola zadovoljavanja uvjeta tlaka

Može se vidjeti da uzgon dimnih plinova svladava otpore strujanja i da osigurava slobodno strujanje dimnih plinova kroz dimnjak i van.

$$P_Z = P_H - P_R - P_L > P_{Ze} = P_W + P_{FV} + P_B$$

$$34,7 \text{ Pa} > -0,42 \text{ Pa}$$

Uvjet tlaka je zadovoljen.

19. Proračun temperature unutrašnje stijenke na izlazu iz dimnjaka ( $T_{iob}$ )

$$T_{iob} = T_{ob} - \frac{k_{ob}}{\alpha_i} \cdot (T_{ob} - T_{uo})$$

U formuli se javlja koeficijent prolaza topline na izlazu dimnjaka ( $k_{ob}$ ). Za temperaturu dimnih plinova na izlasku iz dimnjaka ( $T_{ob}$ ) uzima se da je jednaka prije izračunatoj vrijednosti ( $T_o$ ).

$$k_{ob} = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{1}{\Lambda}\right)_0 + \left(\frac{1}{\Lambda}\right) + \frac{D_h}{D_{hao} \cdot \alpha_{ao}}}$$

$$k_{ob} = \frac{1}{\frac{1}{6,92} + 0 + 1,1597 + \frac{0,2}{0,3024 \cdot 23}} = 0,75 \text{ W/m}^2\text{K}$$

Sada možemo izračunati potrebnu temperaturu.

$$T_{iob} = 364,99 - \frac{0,75}{6,92} \cdot (364,99 - 288,15) = 356,66 \text{ K}$$

20. Kontrola uvjeta temperature

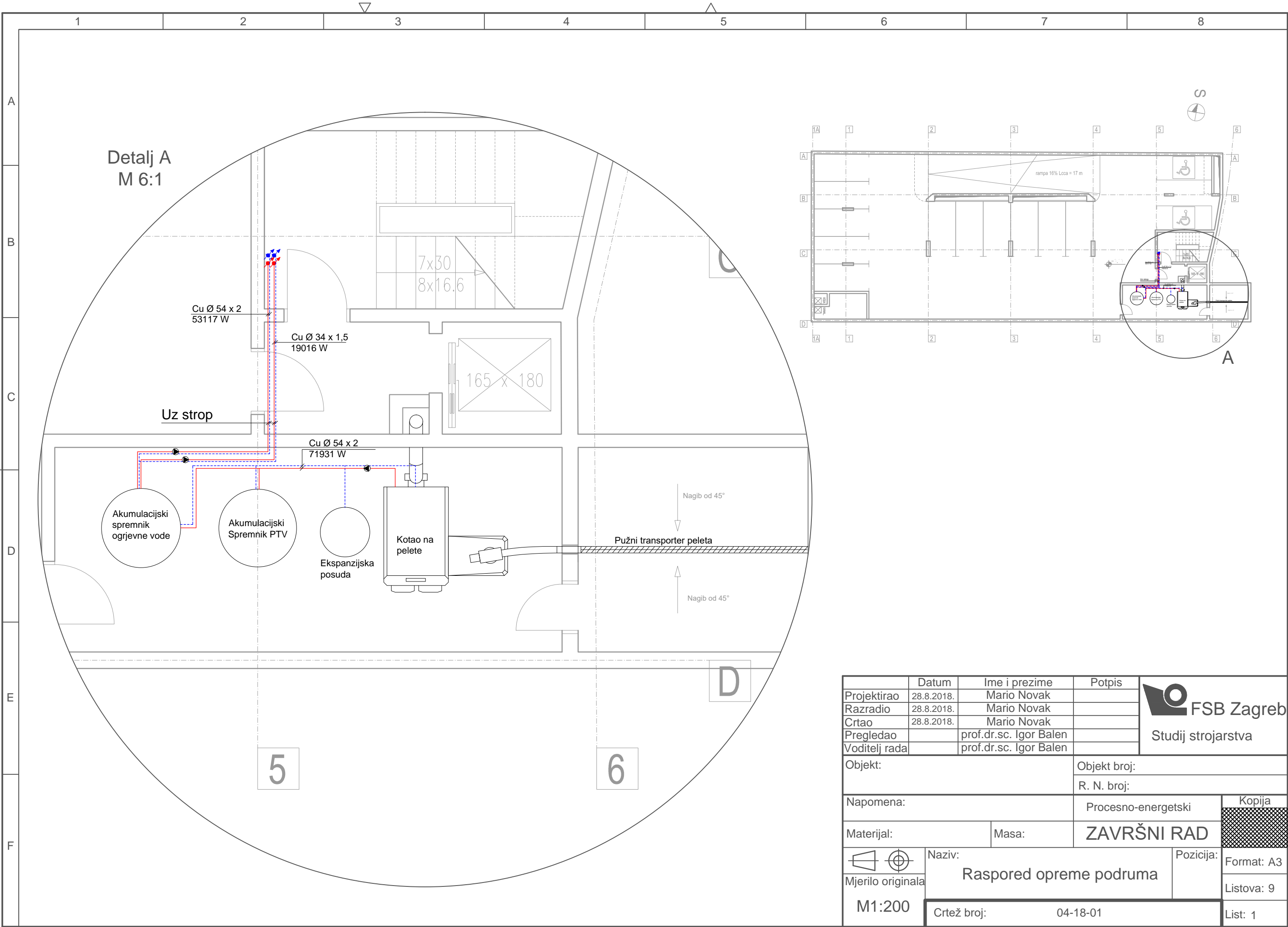
Tijekom dimenzioniranja dimnjaka, bitno je paziti da temperatura dimnih plinova nikad ne padne ispod temperature rošenja, zbog tog uspoređujemo najnižu temperaturu unutarnje stijenke dimnjaka, koja se nalazi pri izlazu iz dimnjaka ( $T_{iob}$ ) i graničnu temperaturu, koja je za suhe dimnjake jednaka temperaturi kondenzacije dimnih plinova ( $T_{sp}$ ).

$$T_{iob} > T_{sp}$$

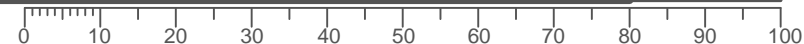
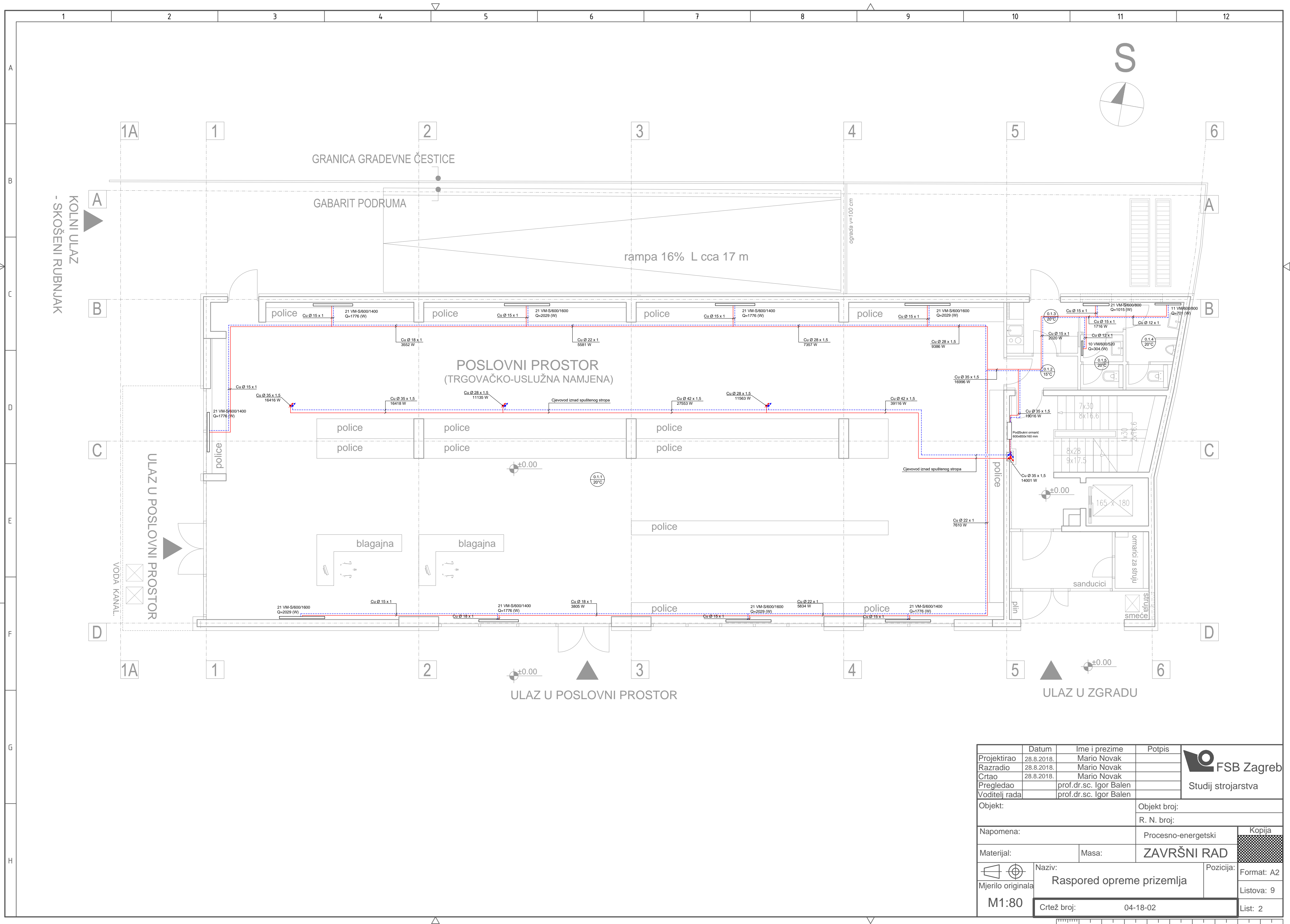
$$356,66 \text{ K} > 340,98 \text{ K}$$

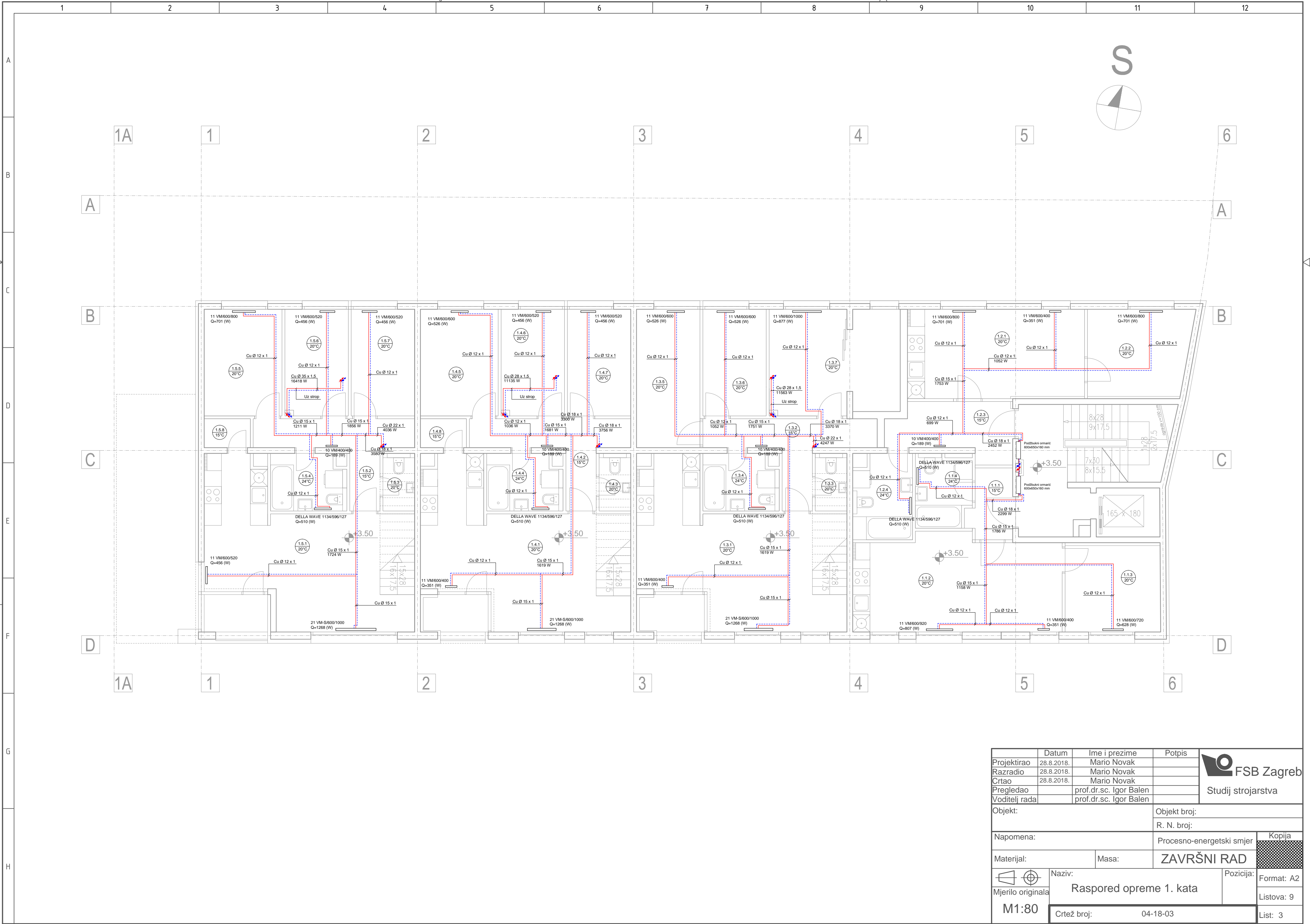
Uvjet temperature je zadovoljen.

## **Prilog 5 – Tehnički crteži**



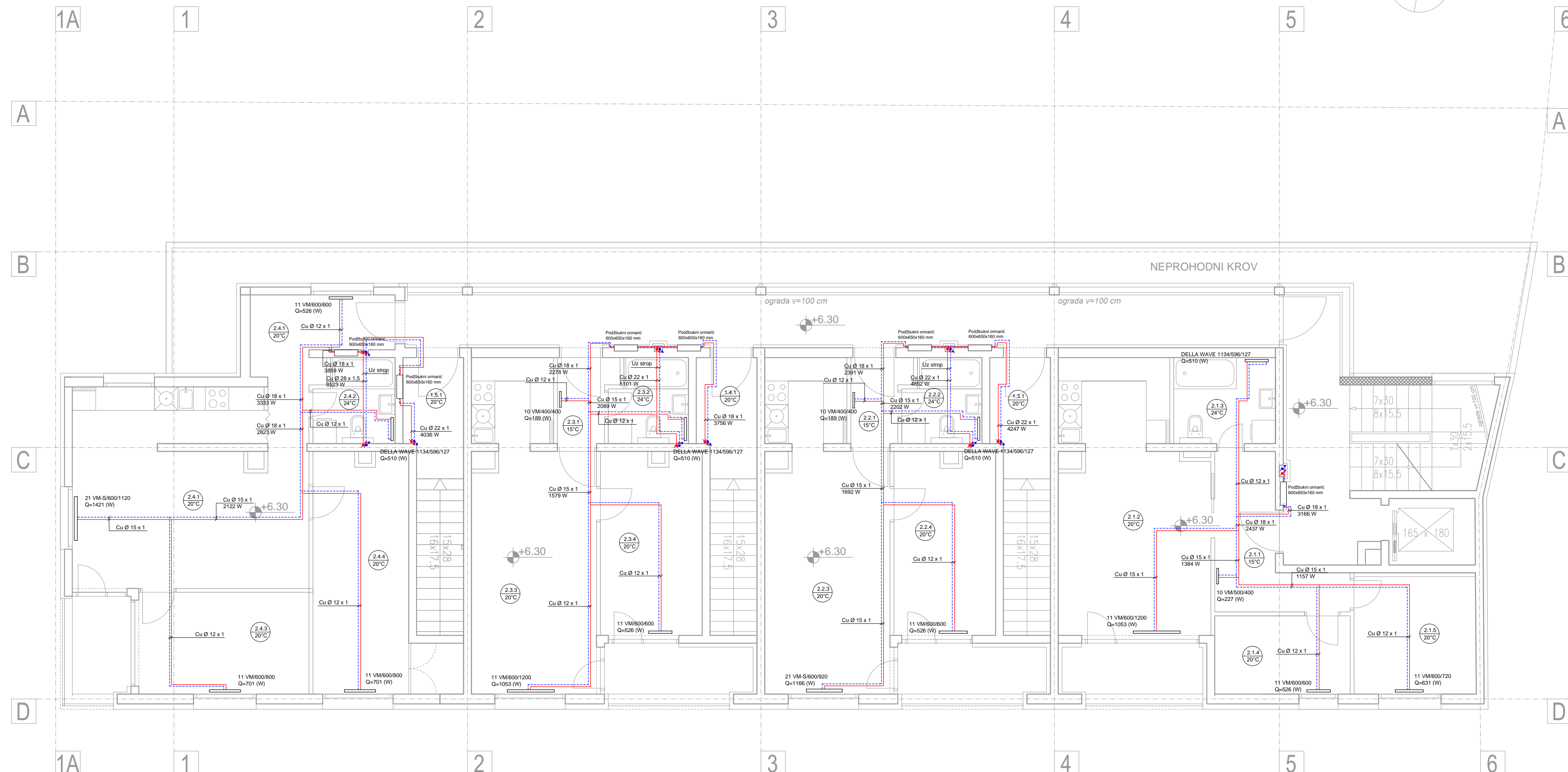






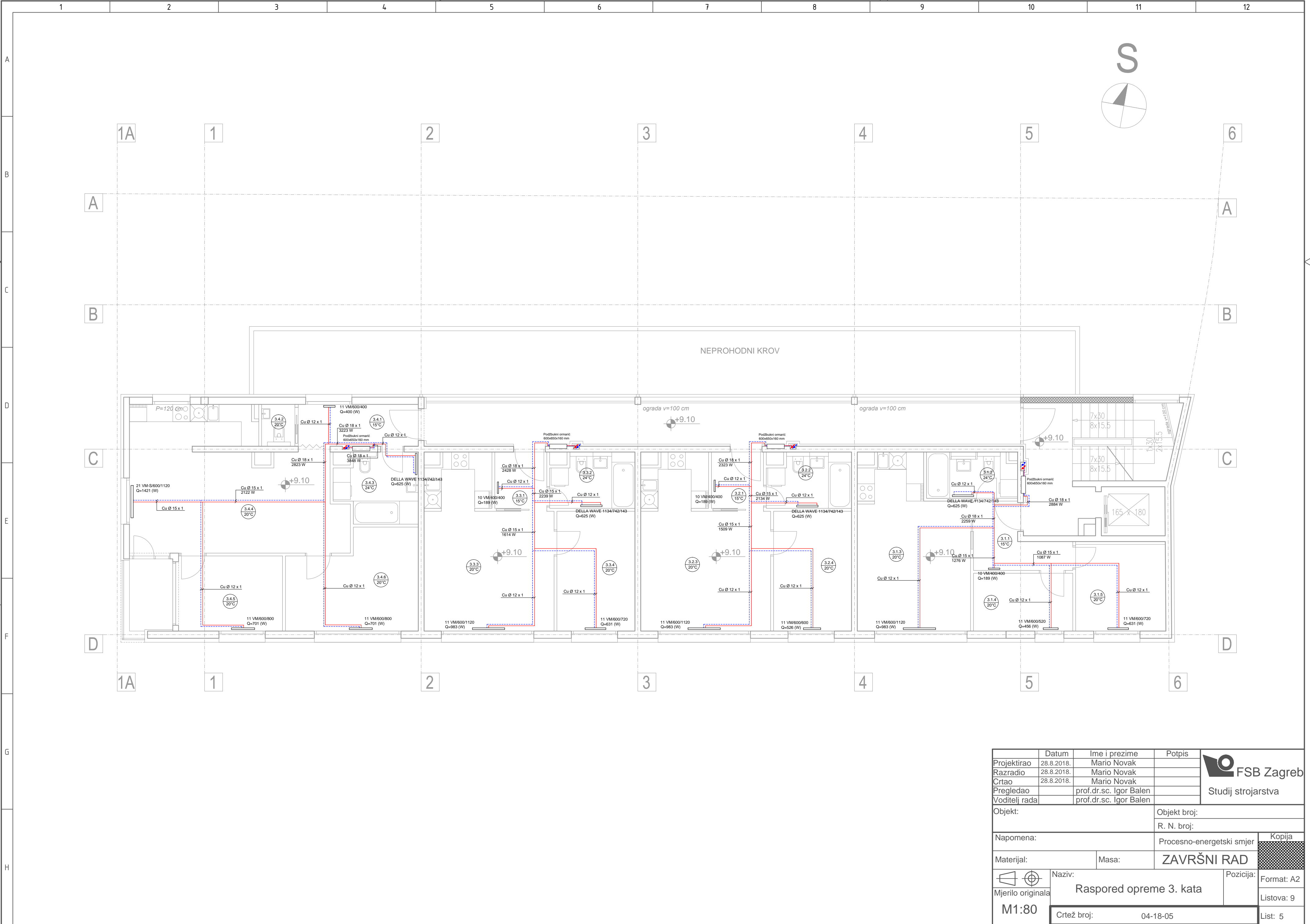
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Studij strojarstva
Razradio	28.8.2018.	Mario Novak		
Crtao	28.8.2018.	Mario Novak		
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen		
Voditelj rada		prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Procesno-energetski smjer	Kopija	
Materijal:		Masa:	<b>ZAVRŠNI RAD</b>	
	Naziv:		Pozicija:	Format: A2
Mjerilo originala	<b>Raspored opreme 1. kata</b>			Listova: 9
<b>M1:80</b>	Crtež broj:		04-18-03	List: 3



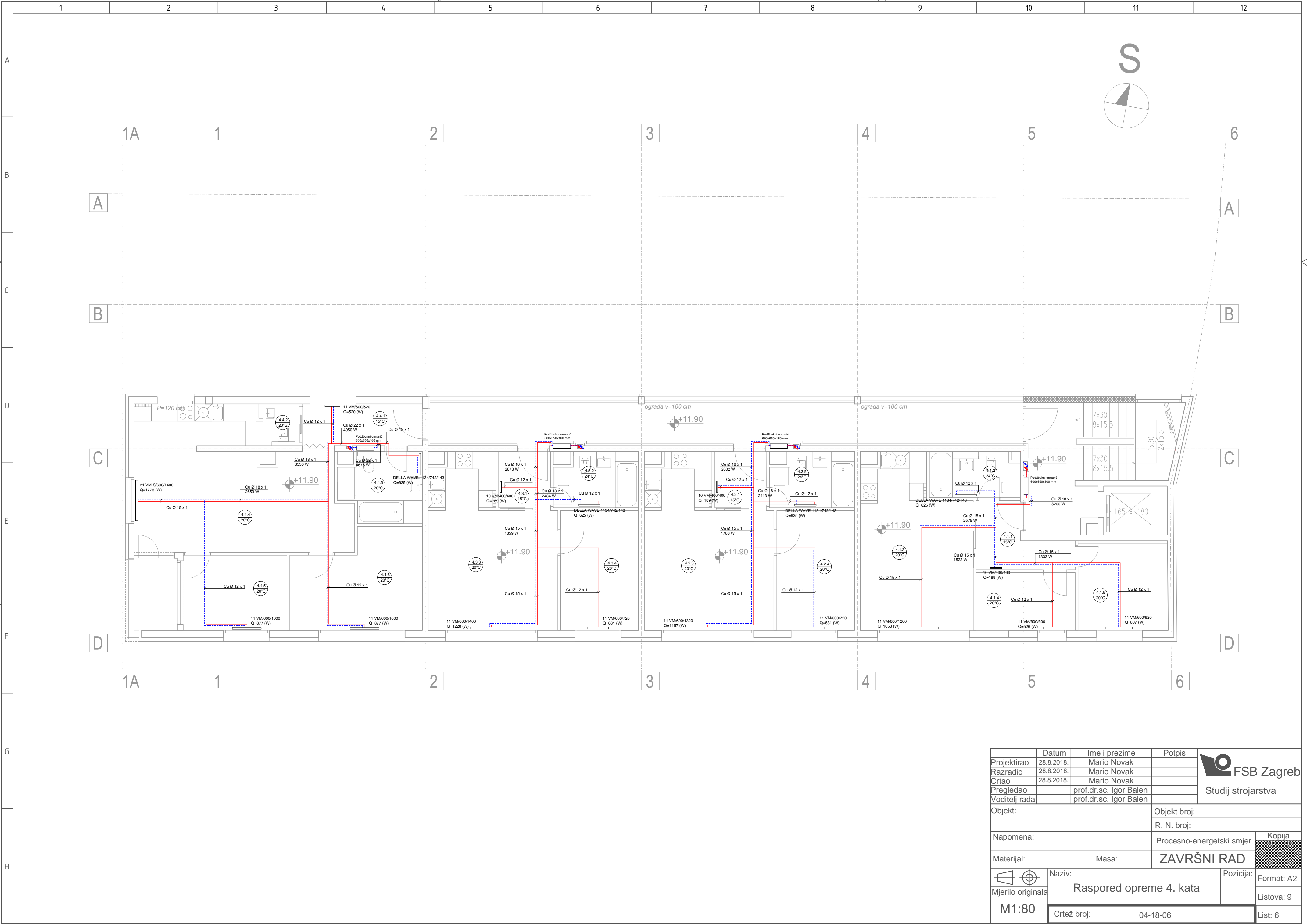


Projektirao		Datum	Ime i prezime	Potpis	 <b>FSB Zagreb</b> Studij strojarstva
Razradio		28.8.2018.	Mario Novak		
Crtao		28.8.2018.	Mario Novak		
Pregledao			prof.dr.sc. Igor Balen		
Voditelj rada			prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt:				Objekt broj:	
				R. N. broj:	
Napomena:				Procesno-energetski smjer	Kopija
Materijal:			Masa:	<b>ZAVRŠNI RAD</b>	
 		Naziv:		Pozicija:	
Mjerilo originala		<b>Raspored opreme 2. kata</b>		Format: A2	
M1:80		Crtež broj:		04-18-04	Listova: 9
					List: 4

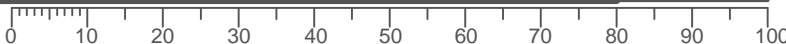




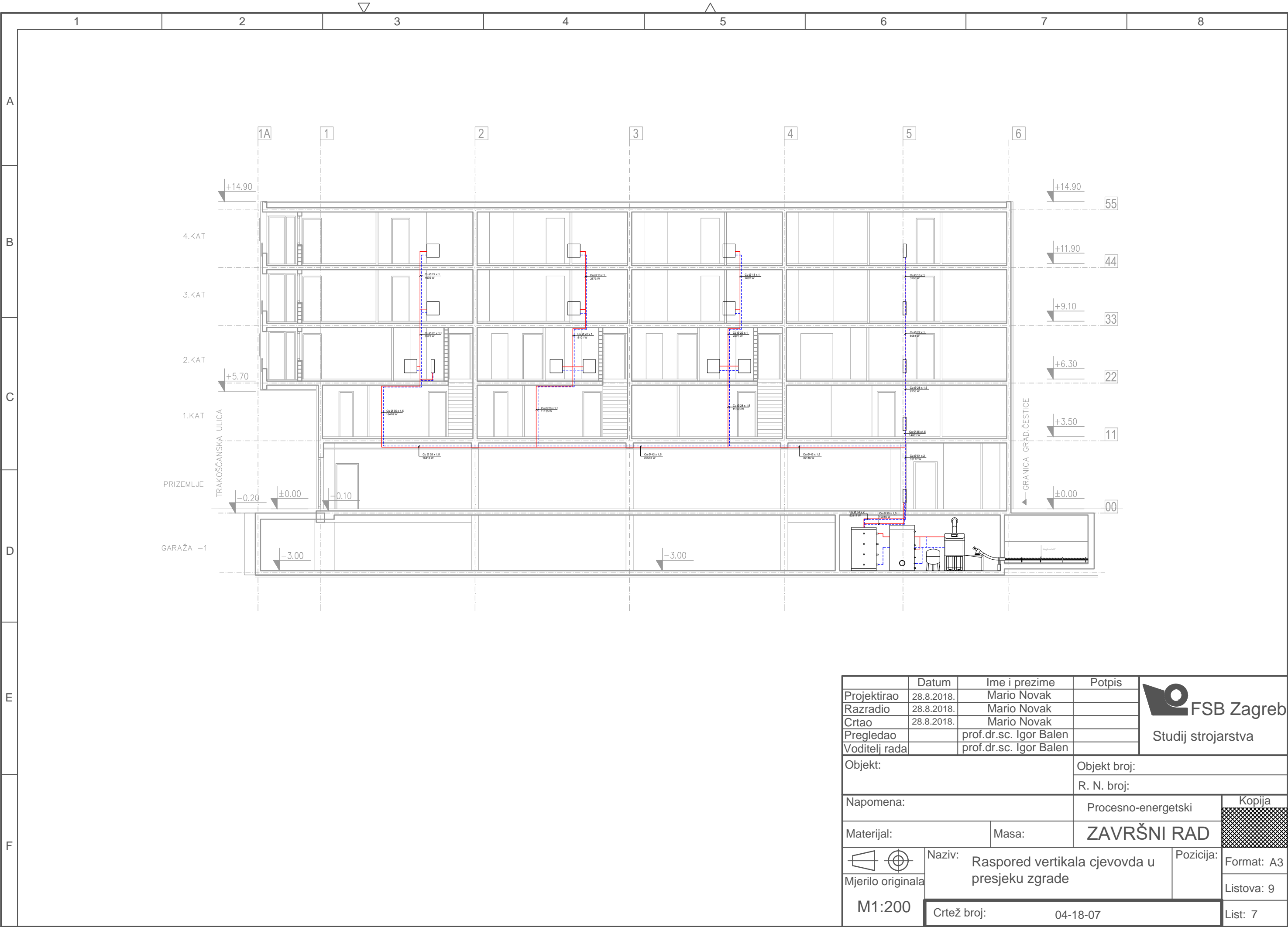
Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
Razradio	28.8.2018.	Mario Novak			
Crtao	28.8.2018.	Mario Novak			
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen			
Voditelj rada		prof.dr.sc. Igor Balen			
Objekt:			Objekt broj:		
			R. N. broj:		
Napomena:			Procesno-energetski smjer		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD		
<div>Mjerilo originala</div> <div>M1:80</div>	Naziv:		Pozicija:		Format: A2
	Raspored opreme 3. kata				Listova: 9
	Crtež broj:		04-18-05		List: 5



Projektirao	Datum	Ime i prezime	Potpis	<div><div></div><div>FSB Zagreb</div><div>Studij strojarstva</div></div>
Razradio	28.8.2018.	Mario Novak		
Crtao	28.8.2018.	Mario Novak		
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen		
Voditelj rada		prof.dr.sc. Igor Balen		
Objekt:		Objekt broj:		
		R. N. broj:		
Napomena:		Procesno-energetski smjer	Kopija	
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD	
<div><div></div><div>Mjerilo originala</div><div>M1:80</div></div>	Naziv:		Pozicija:	Format: A2
	Raspored opreme 4. kata			Listova: 9
	Crtež broj:		04-18-06	List: 6







	Datum	Ime i prezime	Potpis	<div>FSB Zagreb</div> <div>Studij strojarstva</div>	
Projektirao	28.8.2018.	Mario Novak			
Razradio	28.8.2018.	Mario Novak			
Crtao	28.8.2018.	Mario Novak			
Pregledao		prof.dr.sc. Igor Balen			
Voditelj rada		prof.dr.sc. Igor Balen			
Objekt:			Objekt broj:		
			R. N. broj:		
Napomena:			Procesno-energetski		Kopija
Materijal:		Masa:	ZAVRŠNI RAD		
	Naziv:		Pozicija:		
Mjerilo originala	Raspored vertikalna cjevovoda u presjeku zgrade		Format: A3		
M1:200	Crtež broj: 04-18-07		Listova: 9		
	List: 7				



